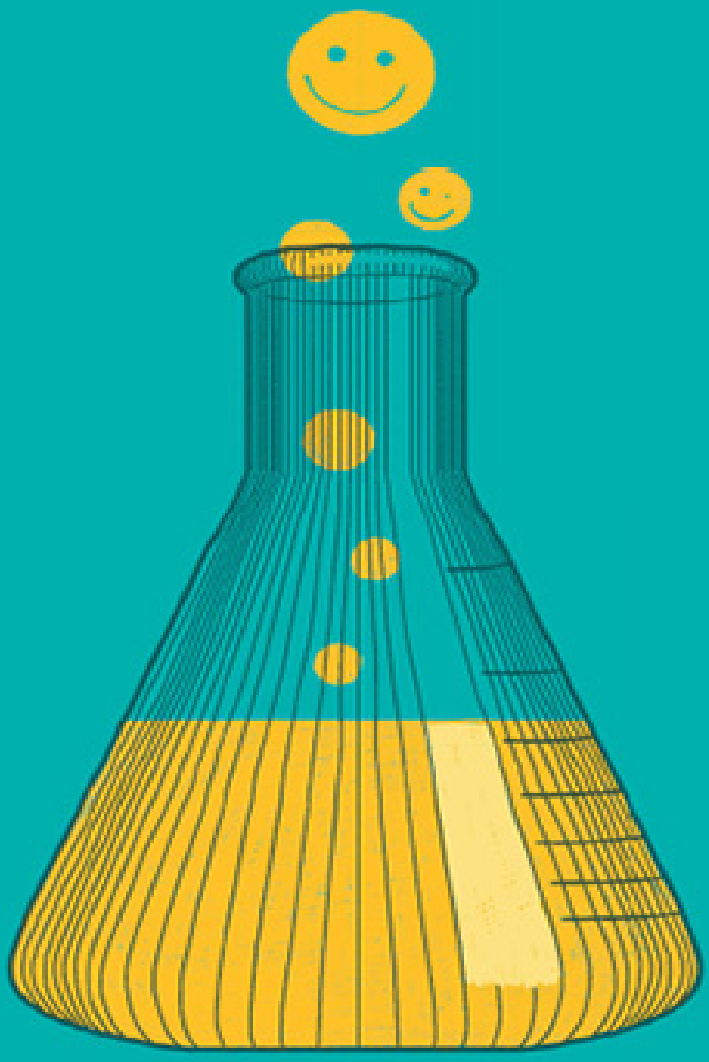
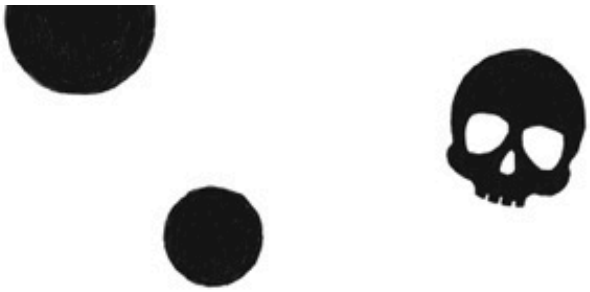
ŚMIERĆ PRZY MYCIU ZĘBÓW

CHEMIA DLA ZABIEGANYCH

MAI THI NGUYEN-KIM



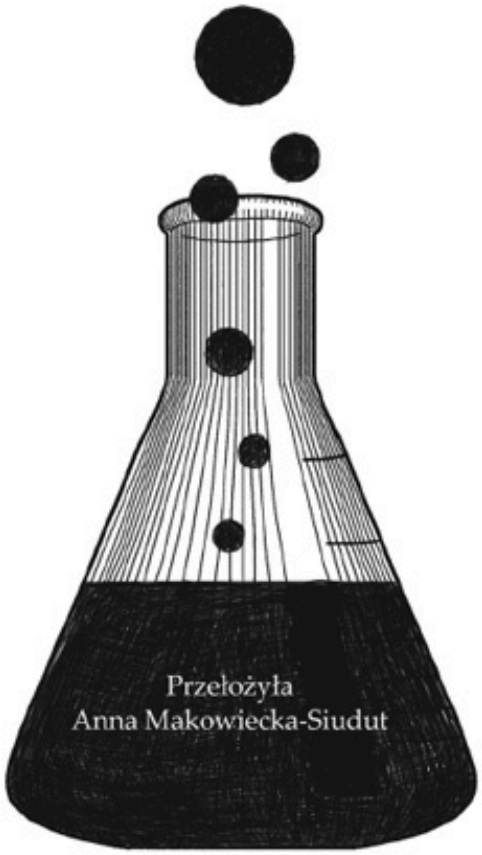
Prószyński i S-ka



ŚMIERĆ PRZY MYCIU ZĘBÓW

CHEMIA DLA ZABIEGANYCH

DR MAI THI NGUYEN-KIM



Przełożyła
Anna Makowiecka-Siudut

Prószyński i S-ka

Tytuł oryginału
HANDYS, KOFFEE, EMOTIONEN
– wie man mit Chemie wirklich alles erklären kann

Copyright© 2019 Droemer Verlag.
All rights reserved by
Verlagsgruppe Droemer Knaur GmbH & Co. KG,
München

Projekt okładki:
Aleksandra Pągowska

Ilustracje w książce:
Claire Lenkova

Redaktor prowadzący:
Magdalena Gołdanowska
Joanna Maciuk

Redakcja:
Anna Płaskoń-Sokołowska

Korekta:
Małgorzata Denys

Konsultacja naukowa:
Mirosław Dworniczak

ISBN 978-83-8169-801-6

Warszawa 2019

Wydawca
Prószyński Media Sp. z o.o.
02-697 Warszawa, ul. Rzymowskiego 28
www.proszynski.pl

Dla mojej Mamy

Moi rodzice są najbardziej kochanymi rodzicami na świecie. Rzadko wygłaszam takie peany, ale jeśli chodzi o moich rodziców, mogę to zrobić z czystym sumieniem. Jako silny zespół zawsze odsuwali swoje interesy na dalszy plan we wspólnej walce o byt w wówczas jeszcze obcym kraju, aby mnie i mojemu bratu stworzyć nowy dom i zapewnić życie pełne przywilejów, którym możemy się cieszyć do dzisiaj. Często opowiadam wyłącznie o moim ojcu, który jest nie tylko cudownym ojcem i mężem – a także chemikiem – ale który też zainspirował mnie i mojego brata tak dalece, że oboje również zostaliśmy chemikami. Tę książkę jednak chciałabym zadedykować szczególnie mojej mamie. Bo to ona właśnie jest osobą, która ukształtowała mnie w zasadniczym stopniu, to ona zdecydowała się zostać w domu, aby z oddaniem i miłością zająć się mną i moim bratem. To ona każdego dnia tuliła mnie, wspierała i motywowała do dalszych działań. Dzięki jej macierzyńskiej trosce stałam się człowiekiem, którym jestem dziś. Gdyby nie moja mama, ta książka nigdy by nie powstała. Jeśli więc się wam spodoba, podziękujcie właśnie jej – mojej mamie.

WSTĘP

Byłam dość brzydkim dzieckiem. Kiedy przyszłam na świat, miałam żółtaczkę i nie chciałam ani jeść, ani pić. Moi rodzice bardzo się martwili i robili wszystko, aby możliwie najefektywniej mnie nakarmić – także wtedy, kiedy już byłam zdrowa. W efekcie stałam się koszmarnie grubym niemowlęciem. A w dodatku moje pierwsze włosy rosły tak, że przypominały fryzurę starszego pana z charakterystycznymi, niesymetrycznymi zakolami po obu stronach. Ale dla moich rodziców byłam oczywiście najpiękniejszym dzieckiem na świecie. Jako chemiczka czuję się czasami z moją chemią tak, jak matka z brzydkim dzieckiem, którego urodę może dostrzec tylko ona. Dla większości ludzi chemia jawi się jako brzydka, trująca i sztuczna. Jest znienawidzonym przedmiotem szkolnym, z którego nie można było szybko zrezygnować. Wmówić takim ludziom, że moje dziecko jest piękne – to niezła sztuka. Oni w najlepszym wypadku nie mają pojęcia o chemii i pytają bezradnie, robiąc wielkie oczy: A co się robi z tą chemią? Czasami, gdy słyszę to pytanie, mam ochotę chwycić rozmówcę za ramiona, potrząsnąć nim i krzyknąć: WSZYSTKO! Z chemią można robić WSZYSTKO! Jedno z moich najwcześniejszych skojarzeń, jeśli chodzi o chemię, to smaczne jedzenie. Mój ojciec, który także jest chemikiem – i znakomitym kucharzem – oświadczył mi kiedyś, że wszyscy chemicy potrafią dobrze gotować i że ten, kto tego nie umie, nie jest dobrym chemikiem. Kiedy jako trzynastolatka zaczęłam się interesować kosmetykami, ojciec także potrafił mi

wszystko wyjaśnić. Na przykład to, jak wyglądają pigmenty, jak działa spray powiększający objętość włosów albo jaką wartość pH ma krem do twarzy. Chemia zawsze była częścią mojego życia i codzienności. Ale całkiem przepadłam z chwilą podjęcia studiów na wydziale chemii. Czy to w czasie picia kawy, mycia zębów czy też uprawiania sportu – natychmiast myślę o receptorach adenozyny, fluorkach i enzymach przemiany materii. W czasie słonecznego spaceru myślę o melatoninie i witaminie D. W czasie gotowania makaronu – o podniesieniu temperatury wrzenia i polimerach skrobiowych. Swoją drogą, ja też już umiem dobrze gotować, bo przecież w innym wypadku nie byłabym dobrą chemiczką.

Ludzie mają osobliwe wyobrażenie nie tylko o chemii, lecz także o ludziach, którzy się nią zajmują. „Wcale nie wyglądasz jak chemiczka" – słyszę często. Sukces The Big Bang Theory (Teoria Wielkiego Wybuchu) sprawił wprawdzie, że my, nerdowie, możemy już się pokazywać na salonach, ale jednocześnie umocnił wiele stereotypów, jak na przykład ten, że kompetencje zawodowe i społeczne kategorycznie się wykluczają. I jest to jeden z wielu stereotypów, z którymi, my, naukowcy musimy walczyć. Bo zgodnie z nim naukowcy to jakieś tajemnicze, nieznane istoty, których życie upływa w laboratoriach albo między regałami z książkami. Nikt nie wie, jak wyglądamy, czy może mamy jakieś hobby albo przyjaciół. Czy w ogóle naukowcy są ludźmi? Taaak… dokładnie nie wiadomo. Kiedy pisałam pracę doktorską, postanowiłam, że zdradzę tajemnicę, jaką kryją w sobie naukowcy, poprzez swój kanał na YouTube o nazwie *The secret life of scientists* – Tajemnicze życie naukowców. Chciałam, aby dzięki moim filmom wideo nauka otrzymała głos i twarz. Chciałam nie tylko uświadomić wszystkim, jak wspaniała jest nauka, lecz także, jak wspaniali są naukowcy. Ta misja przypomina pewien skomplikowany projekt badawczy, nad którym wciąż pracuję. A dziś tworzę na YT kanał mail Lab dla fanów i moderuję Quarks w rozgłośni WDR.

Dlaczego powstała ta książka? Bo chciałam się porządnie wyszaleć. To zaproszenie do świata moich myśli, jako chemiczki, a oprócz tego wgląd w codzienność youtuberki i dziennikarki piszącej o nauce. Przede wszystkim jednak chciałabym, abyście mogli ulec

nieodpartemu urokowi chemii i dzięki tej publikacji spojrzeć jej prosto w oczy. Jeśli nie łudzi mnie moja wiara w ludzi i ich ciekawość, to po lekturze tej książki nie tylko zrozumiecie, że chemia naprawdę jest wszystkim (śmieszne!), ale też może nawet przyznacie, że ta nauka jest po prostu cudowna.

ROZDZIAŁ 1

OCD – OBSESSIVE CHEMICAL DISORDER

Tru, tu, tuu!!

Przerażenie niemal wyrzuca mnie z łóżka, a serce skacze mi do gardła.

– Matthiiiiiaaaas! – chciałabym wrzasnąć z oburzeniem, ale mój aparat mowy najwyraźniej jeszcze nie całkiem się uaktywnił. Moje ciało znajduje się na osobliwej granicy półsnu i walki wręcz, rzucam się więc na komórkę Matthiasa i wymachując dziko rękami, w końcu wyłączam ten okrutny budzik. Jest cholerna szósta rano.

Matthias ma okropny zwyczaj wstawania w nocy przynajmniej dwa razy w tygodniu, aby pójść pobiegać. Dla mnie, niestety, oznacza to, że muszę się obudzić tuż przed nim, aby mój dzień nie rozpoczął się od potyczki z hormonami stresu.

Najbardziej lubię, kiedy budzi mnie ledwo słyszalny dźwięk przypominający delikatny szept wróżki – w przeciwnym razie ranek zaczyna się od szaleńczego bicia serca. Matthias za to potrzebuje przynajmniej 100 decybeli i tego okropnego tru, tu, tuu!, aby móc się w ogóle obudzić. Dlatego z reguły nastawiam swój budzik minutę wcześniej, aby móc się przygotować na stres. Tyle że dziś nie miałam pojęcia o sportowych planach mojego męża.

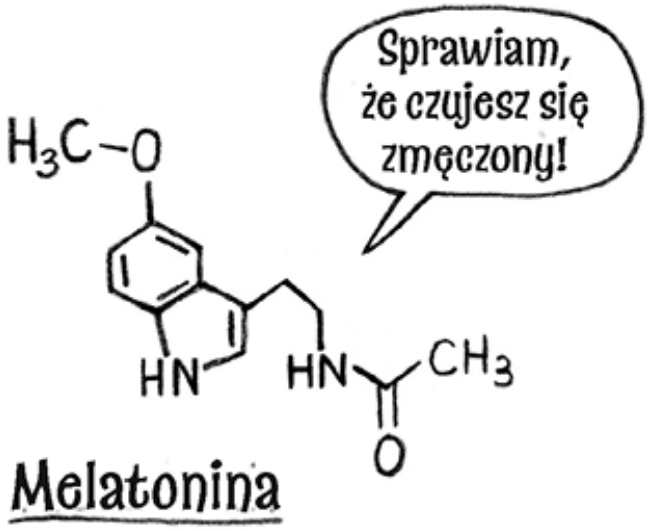
Rozsuwam zasłony, aby obniżyć poziom melatoniny Matthiasa.

– Matthias – mówię.

– Hmm… – mruczy mój mąż, ciągle jeszcze w półśnie.

Niewiarygodne.

Melatonina nazywana jest czule hormonem snu. Powstaje ona w niewielkim gruczole zwanym szyszynką, który znajduje się w środku naszego mózgu. Przezwisko „hormon snu" nie jest przypadkowe, bo melatonina odgrywa ważną rolę w naszym całodobowym (*circadian* – z łac. *circa dies* – przez cały dzień) rytmie, inaczej mówiąc: w naszym rytmie snu i czuwania. Im wyższy poziom melatoniny, tym bardziej zmęczeni się czujemy. Ale z praktyki wiadomo, że światło pomocne jest w obniżeniu poziomu melatoniny. I najwyraźniej u Matthiasa powoli zaczyna to działać.



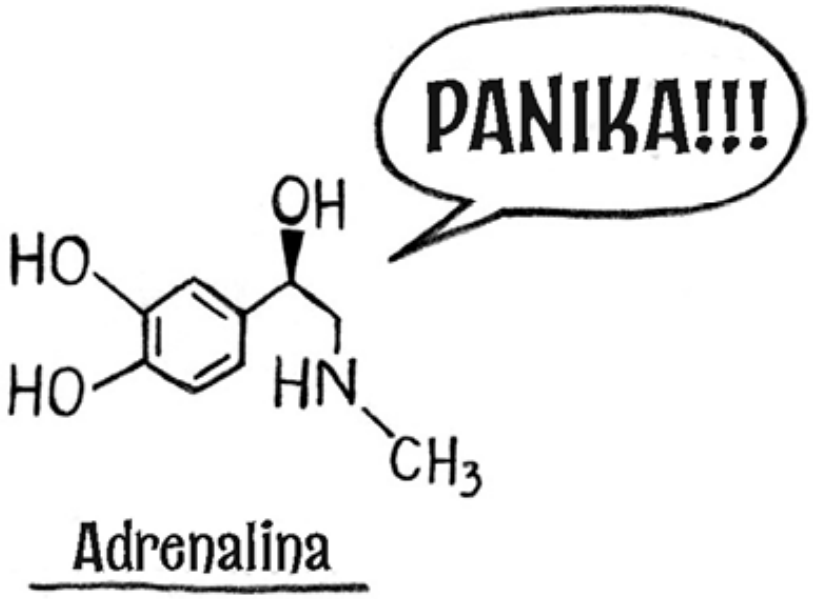
Zajrzeć do świata molekuł to dla mnie przymus, ale miły przymus. Można powiedzieć, że cierpię na zespół OCD – Obsessive Chemical Disorder. Kiedy wyobrażam sobie, jak wygląda codzienność ludzi, którzy nie są chemikami i w ogóle nie myślą o cząsteczkach, wydaje mi się to smutne. Nie wiedzą, co tracą. Bo wszystko to, co jest tak interesujące, w końcu daje się jakoś wytłumaczyć za pomocą chemii. Ostatecznie to wy, którzy czytacie te słowa, jesteście niczym innym jak właśnie kupkami molekuł, które rozmyślają o molekułach. To już jest niemal spirytualne.

Jak więc wygląda mój poranek od strony cząsteczek?

O tym, czy dobrze się nam rano wstaje, decydują przede wszystkim dwie molekuły. Jednej – a mianowicie melatoniny – potrzebujemy mniej, drugiej zaś więcej: jest to hormon stresu – kortyzol. Rankiem jest on wydzielany przez nasz organizm automatycznie. Samo określenie „hormon stresu" brzmi stresująco, ale w ilościach umiarkowanych kortyzol po prostu pomaga nam ruszyć z miejsca. Ów sympatyczny dodatkowy serwis naszego ciała zwykle nawet nie potrzebuje budzika. Owo budzikowe tru, tu, tuu! stanowiło dla mnie lekkie przegięcie i wywołało prawdziwą reakcję typu *fight-or-flight* – walka albo ucieczka. To sprawdzony od pradawnych czasów, bardzo zmyślny system alarmowy na wypadek zagrożenia życia. Ogólnie

rzec biorąc, stres, podobnie jak ból, jest bardzo pożądaną reakcją naszego organizmu. I podczas kiedy ból daje nam do zrozumienia, że dzieje się coś złego, stres pomaga ratować nasze życie. Wyobraźcie sobie, że żyjecie w epoce kamienia łupanego i stajecie na drodze tygrysowi szablozębnemu (prawidłowo powinno się powiedzieć „kot szablozębny", ale dla podkreślenia dramatyzmu sytuacji pozostańmy przy tygrysie). Znaleźlibyście się w głupiej sytuacji, gdyby wasze ciało nie wydzieliło słusznej wiązki hormonów stresu, dzięki której mogliście błyskawicznie zareagować. W efekcie oznaczało to, że należało natychmiast wyciągnąć dzidę (walka) albo zwiać na najbliższe drzewo (ucieczka)!

Musimy wyjść z założenia, że tygrys szablozębny także reaguje zgodnie ze schematem reakcji *fight-or-flight*, chociaż do dziś nie wyjaśniono, czy wówczas ludzie rzeczywiście figurowali w karcie dań tygrysów szablozębnych. Bądź co bądź człowiek też był drapieżnikiem i takie coś mogło być po prostu spotkaniem dwóch myśliwych, którzy czuli do siebie wzajemny respekt. W każdym razie reakcja *fight-or-flight* jest starsza niż człowiek i jest „zainstalowana" także w organizmach wielu zwierząt, jako coś w rodzaju systemu alarmowego. A jak funkcjonuje ów system alarmowy? Oczywiście poprzez molekuły. Cząsteczki, które drzemią sobie w naszym organizmie, najpierw musi obudzić bodziec. W epoce kamienia łupanego mógł to być właśnie jakiś szablozębny osobnik – dziś jest to upiorny budzik Matthiasa. Jego sygnał akustyczny prowadzi najpierw do tego, że mózg uruchamia impuls nerwowy, który biegnie błyskawicznie poprzez rdzeń kręgowy i dociera do nadnercza. A nadnercze wraz z szyszynką należą do najważniejszych fabryk hormonów naszego ciała. Ów impuls nerwowy powoduje, że nadnercze wydziela prawdopodobnie najważniejszy hormon stresu: adrenalinę, która szybko zostaje wpompowana do krwiobiegu i dzięki niemu dociera do różnych organów. A hormon to nic innego jak substancja semiochemiczna, czyli molekuła, która przenosi najważniejsze wieści – w tym wypadku wieść brzmi: „PANIKA!".



Kiedy adrenalina mknie przez krwiobieg, choć równie szybko zanika, na wojnę wywołaną stresem zbroi się już następny hormon: ACTH (*Adrenocorticotropes hormon*) – hormon adrenokortykotropowy. Jest on produkowany przez przysadkę mózgową i poprzez krwiobieg także dociera on do nadnercza, bazowego obozu wojny *fight-or-flight*.

Natychmiast po dotarciu hormon ten wyzwala cały łańcuch przeróżnych reakcji chemicznych. Z przyjemnością wyobrażam sobie to jako typowe sceny z filmów wojennych. Po alarmie wywołanym przez pierwszego posłańca, czyli adrenalinę, hormon ACTH zostaje dowódcą wojsk i wznosząc zaciśniętą pięść, wydaje pierwszy okrzyk bojowy. Mobilizuje w ten sposób armię i rozpoczyna się bitwa. Wreszcie do krwiobiegu dostaje się drugi hormon stresu – kortyzol – i on także rusza w drogę do przeróżnych organów.

Hormony mogą wywołać bardzo dużo różnych reakcji naszego organizmu. Do reakcji *fight-or-flight* należą m.in. podwyższony puls, lepsze ukrwienie mięśni (biegiem!), słabsze ukrwienie systemu trawiennego (rzucić wszystko, bo teraz mamy coś ważniejszego do zrobienia!), głębszy oddech, rozszerzone źrenice, poty, gęsia skórka i zwiększona uważność.

W efekcie tych reakcji organizmu, które są wynikiem działania moich hormonów stresu, jestem oczywiście natychmiast całkowicie rozbudzona, ale uczucie zagrożenia życia nie jest przyjemne. Nie mogę jednak robić wyrzutów cząsteczkom. Naszym ciałem rządzi chemia, której dążeniem jest przetrwanie. Biedne molekuły stresu nie wiedzą, że budzik Matthiasa nie stanowi zagrożenia życia. One chcą tylko pomóc. Nasze życie jest pełne stresu – szkoła, praca, relacje międzyludzkie – ale tylko niewiele sytuacji stanowi prawdziwe zagrożenie życia. Chroniczny stres szkodzi jednak zdrowiu. Abyśmy nie zwariowali – my i nasze molekuły – system stresu ma na szczęście ujemne sprzężenie zwrotne, które troszczy się o to, aby nasze ciało nie eskalowało i nie wpadło w panikę. Zawdzięczamy to m.in. kortyzolowi – hormonowi stresu obdarzonemu dużą samodyscypliną. Podczas gdy adrenalina wręcz wdziera się do krwiobiegu, a potem równie szybko zanika, kortyzol zostaje w systemie nieco dłużej. Ostatecznym efektem jego działania jest zahamowanie wydzielania ACTH – a poprzez to także jego produkcji.

Perfekcyjna i prawidłowa chemia poranna powinna więc wyglądać następująco: jeszcze w czasie drzemki pierwsze promienie słońca padają na moje powieki i siatkówkę oczu, która poprzez nerw oczny jest połączona z mózgiem. Po otrzymaniu takiego sygnału w szyszynce powstrzymana jest produkcja hormonu snu – melatoniny. Szyszynka zwana jest czasami trzecim okiem, ponieważ bezpośrednio łączy się z mózgiem za pomocą nerwu wzrokowego. Brzmi to nieco ezoterycznie, ale coś jest na rzeczy. U płazów szyszynka rzeczywiście jest swoistym trzecim okiem, ponieważ jest ona wrażliwa na światło. Mój poziom melatoniny powoli więc opada, a organizm w tym czasie wydziela przyjemną ilość kortyzolu. Wówczas w najlepszym wypadku człowiek budzi się sam.

Matthias jest niewiarygodnie wrażliwy na światło podczas snu, dlatego nigdy nie śpi bez opaski na oczy. Ponieważ blokuje w ten sposób wszelkie światło dzienne, poziom jego melatoniny rankiem nie opada tak szybko. Sztuczne zaciemnienie jest tak samo mylące dla naszego całodobowego rytmu jak sztuczne światło. Jedno i drugie jest obecne w naszym życiu, a to zaburza rytm naszego

wewnętrznego zegara. Zgodnie z moją hipotezą Matthias wcale nie potrzebuje tego upiornego budzika – wystarczy, że po prostu przestanie używać opaski na oczy. On jednak jest zdania, że jego system melatoniny jest zbyt wrażliwy i bez tego wyłożonego miękką watą cuda na nosie po prostu nie mógłby się wyspać. To, co nam obojgu utrudnia argumentację, to fakt, że melatonina być może wcale nie jest hormonem snu. Na przykład jej poziom wzrasta nocą u zwierząt aktywnych o tej porze doby – jest to więc raczej hormon czuwania. Myszy laboratoryjne często prawie nie wytwarzają melatoniny po genetycznej mutacji, a mimo to zwierzęta te sypiają całkiem normalnie. Czyli całkiem odwrotnie! Czy więc organizm jednak nie jest zmęczony w efekcie działania melatoniny? No ale z drugiej strony istnieją liczne opracowania, które dowodzą, że melatonina pomaga w terapii przy leczeniu bezsenności czy chronicznie późnego zasypiania. Hm… I co teraz? Badacze snu rzeczywiście nie są zgodni co do tego, jaki jest związek melatoniny ze snem. I dopóki się nie wyjaśni, czy melatonina rzeczywiście przyczynia się do występowania uczucia zmęczenia, Matthias i ja możemy długo dyskutować na temat jego okularów do spania.

No cóż, już w pierwszym rozdziale chcę was o coś poprosić: kto pragnie zrozumieć naukę, powinien się odzwyczaić od szukania łatwych odpowiedzi. Z początku wydaje się, że to bardzo męczące, ale mogę wam coś obiecać: naukowy sposób myślenia nie czyni tego świata bardziej suchym, lecz bardziej kolorowym i cudownym (w sensie dosłownym: pełnym cudów). Zgódźmy się więc najpierw co do tego, że melatonina nie jest hormonem snu, lecz raczej hormonem nocy, który tłumaczy naszemu ciału to, co widzą oczy: robi się ciemno.

Długo trwający eksperyment stanowiłby wyjaśnienie dla Matthiasa i mojej osobistej dysputy na temat melatoniny. A przy okazji światło budzącego się dnia padłoby na siatkówkę Matthiasa… Problemem jednak jest to, że eksperymenty, w których bierze udział dwóch uczestników, statystycznie rzecz biorąc, nie są zbyt wiarygodne. A więc pozostaje nam dyskusja.

Idę do kuchni, aby zrobić sobie kawę. Idealnie byłoby wypić pierwszą kawę nie natychmiast, lecz dopiero godzinę po wstaniu z łóżka. A to dlatego, że już poranna dawka kortyzolu jest dla naszego organizmu środkiem pobudzającym. Kofeina także motywuje ciało do produkcji kortyzolu. Świetnie – można by pomyśleć – a więc po prostu podwyższam mój własny poziom kortyzolu za pomocą filiżanki kawy! Niestety (a może na szczęście) nasze ciało tak nie funkcjonuje, bo lubi utrzymywać równowagę. Trzeba więc liczyć się z tym, że z czasem organizm przyzwyczai się do kawy w taki sposób, że sam obniży poranny stres. Dlatego lepiej poczekać, aż wydzielona przez organizm dawka kortyzolu samoczynnie ulegnie zmniejszeniu – trwa to mniej więcej godzinę – i dopiero potem podnieść jej poziom dawką kofeiny.

Ponieważ jednak czuję się tak, jakby cały mój poranny kortyzol błyskawicznie, w ciągu jednej minuty wyparował, sięgam po kawę, aby zwalczyć zmęczenie, które znów mnie dopadło.

Jeśli nie jest wam za gorąco, to też przynieście sobie filiżankę kawy, herbaty albo jakiegoś gorącego napoju, który będziecie mogli sączyć w czasie lektury kolejnych fragmentów. Nie ma bowiem nic lepszego niż gorący napój, aby móc zajrzeć do świata molekuł. Kiedy stawiam przed sobą filiżankę parującej kawy, po chwili stół pod filiżanką też staje się gorący. A jeśli poczekam dłużej, kiedyś w końcu kawa stanie się zimna. Czy zastanawialiście się kiedyś, gdzie właściwie znika ciepło?

W tym momencie poruszamy kolejny z moich ulubionych tematów – a mianowicie **model cząsteczkowy.** Nie brzmi to z początku zbyt ekscytująco, ale poczekajcie – daję gwarancję fascynacji.

Model cząsteczkowy mówi: **każda materia we wszechświecie składa się z „cząsteczek”**. Mogą to być atomy, mogą to być też molekuły – jeśli chodzi o model cząsteczkowy, nawet nie musimy wiedzieć, jak dokładnie wyglądają owe „cząsteczki”. I mimo tego mocno uproszczonego sposobu obserwacji możemy w ten sposób częściowo (cząsteczkowo, ha, ha) zadziwiająco dobrze opisać nasz świat. Tak jak na przykład moją kawę.

Kiedy pijcie swoją kawę, pijecie cząsteczki kawy. Albo cząsteczki herbaty – jeśli to ją wybraliście. Wyobraźmy więc sobie te cząsteczki

jako drobniutkie kuleczki, których nie można dostrzec gołym okiem. W rzeczywistości są to głównie cząsteczki wody, troszkę kofeiny (albo teiny, która nawiasem mówiąc, składa się z takich samych molekuł) i jeszcze kilka innych cząsteczek, jak choćby składniki aromatów. Owe cząsteczki znajdują się w ciągłym ruchu. Można to dostrzec, mimo że cząsteczek nie da się zobaczyć gołym okiem.

Jak to zrobić? Nic łatwiejszego: postawcie na stole szklankę wody z wodociągu i wlejcie do niej kroplę kawy (jeszcze lepiej to widać, gdy do wody wlejemy kroplę atramentu, ale skoro akurat pijecie kawę…). Także wtedy, kiedy w ogóle nie będziecie ruszać szklanki, kwestią czasu jest rozpuszczenie się kropli kawy w wodzie, nawet bez mieszania. Być może zaobserwowanie takiego zjawiska wcale was nie powali, ale uświadomcie sobie, co właściwie się dzieje w tej szklance wody! Chaotyczna szamotanina i ruch, prawdziwe cząsteczkowe party! I właśnie na to party chciałabym was zaprosić – bo dokładnie tutaj zaczyna się prawdziwa chemia.

Domowy eksperyment nr 1

Kroplę kawy albo atramentu dodano do szklanki wody

Kawa lub atrament rozpuszczają się w wodzie

Poza tym szklanka wody, filiżanka kawy, stół, podłoga, na której stoi stół, powietrze – i oczywiście także my – wszystko składa się z cząstek. I one także są w ciągłym ruchu! Coś takiego jak bezruch praktycznie nie istnieje. Dokładnie w tym momencie wszędzie – w waszej filiżance, pod waszymi stopami i w waszym ciele – odbywa się cząstkowe party, tylko wy nie możecie tego zobaczyć.

Można by zapytać, dlaczego mamy sobie wyobrażać świat składający się z malutkich cząstek, skoro w ogóle nie można ich dostrzec (a byłoby to niezłe przedstawienie, tak uważam). A więc odpowiadam: dzięki temu można na przykład wyjaśnić, jak powstają różne **stany skupienia** – stały, ciekły i gazowy. To, czy materia jest w stanie **stałym, ciekłym czy gazowym,** zależy od tego, jak ruchliwe są jej cząsteczki.

Moja filiżanka do kawy jest w stanie stałym, ponieważ jej atomy poruszają się nieznacznie – są ze sobą połączone poprzez wiązania. O wiązaniach chemicznych pomówimy dokładnie potem, na razie wyobraźmy sobie sytuację molekularną następująco: jesteście na koncercie i stoicie w tłumie ludzi. W ścisku z ledwością możecie się poruszać. Ale oczywiście mimo to podskakujecie w rytm muzyki. W ten sposób właśnie możecie sobie wyobrazić cząstki ciała stałego takiego jak filiżanka kawy. W ciekłej zawartości filiżanki, czyli w kawie, cząstki są bardziej ruchliwe, nawet jeśli silnie oddziałują na siebie nawzajem. Na koncercie znaleźlibyśmy się w strefie zwanej *moshpit*, tuż przy scenie, gdzie wszyscy skaczą jak oszaleli. Najbardziej szalone są jednak molekuły powietrza w postaci gazowej, które wówczas wdychamy. Poruszają się one, w ogóle nie uwzględniając innych towarzyszących im cząsteczek. Należałoby wielokrotnie powiększyć teren, na którym odbywa się koncert, aby wszyscy widzowie mogli biegać dookoła i wywijać koziołki, nie wchodząc sobie w drogę.

Aby móc lawirować między różnymi stanami skupienia, trzeba zmieniać temperaturę – to znamy z wody. Jeśli podgrzejemy wodę w stanie stałym, czyli lód, roztopi się i przejdzie w stan ciekły; jeśli podgrzejemy ją jeszcze bardziej, woda wyparuje i przyjmie postać gazu. Zaś w zetknięciu z chłodną powierzchnią, na przykład z lustrem w łazience, para się skropli, czyli przejdzie w stan ciekły. Jeśli będziemy dalej schładzać wodę, zamarznie – i powstanie lód.

Dlaczego o tym wszystkim mówię? Bo mam dla was małe odkrycie: **temperatura to nic innego jak ruch cząstek. Im bardziej gorąco, tym ruch jest szybszy, a im zimniej, tym wolniejszy**. Czy nie jest fajnie znać termodynamiczną definicję temperatury? Czy

nie sądzicie, że to bardziej zadowalające niż temperatura oznaczona na termometrze?

O wiele więcej sensu ma to wtedy, kiedy przyglądamy się filiżance parującej kawy: kawa jest gorąca, a to znaczy, że molekuły wody poruszają się szybko i uderzają o siebie nawzajem. Te, które wyparowują, są tak szybkie i potrzebują tak dużo miejsca, że już z samej potrzeby ruchu opuszczają filiżankę i przechodzą w stan gazowy.

A jak ciepło pochodzące z kawy przechodzi na filiżankę i stamtąd dalej, na kuchenny stół? **Przenoszenie ciepła** to efekt zderzeń między cząstkami i przenoszenia energii wynikłej z ruchu. Cząsteczki kawy szusują w filiżance i uderzają o jej brzeg. I zupełnie jak w przypadku elektrycznych samochodzików na skutek tych uderzeń w ruch wprawiane są także cząsteczki filiżanki, które zaczynają się poruszać coraz szybciej. Cząsteczki filiżanki uderzają w cząsteczki kuchennego stołu i te też poruszają się coraz szybciej. A ponieważ przewodzenie ciepła zawsze zachodzi w kierunku miejsca o niższej temperaturze, stół pod filiżanką z kawą robi się coraz cieplejszy.

Teraz rozumiemy więc także, dlaczego kawa w którymś momencie staje się zimna: dzieje się tak z tego samego powodu, dla którego wprawione w ruch wahadło w końcu się zatrzymuje. I tak jak w przypadku elektrycznych samochodzików przy każdym uderzeniu uderzające o siebie cząsteczki kawy przyhamowują, aż wreszcie wszystkie osiągają temperaturę pomieszczenia czy też jego „prędkość".

Wszystkie cząsteczki – jak też cały wszechświat wraz z tym, co stanowi jego zawartość – działają zgodnie z **pierwszą zasadą termodynamiki**. Możemy tu postawić znak równości z zasadą zachowania energii, która mówi, że energia nigdy nie może być stworzona bądź zniszczona, lecz jedynie jej forma może być zamieniona w inną. Można też powiedzieć inaczej: całkowita ilość energii zawsze jest taka sama. Jeśli jedna cząstka zyskuje energię, taka sama jej ilość musi być utracona gdzieś indziej. Jeśli jedna cząstka przy uderzeniu przenosi część swojej energii na inną cząstkę, która dzięki temu uzyskuje większą prędkość, prędkość pierwszej cząstki spada. Gdyby tak nie było, energia powstawałaby z niczego

– a to nie jest możliwe. Także zamiar zniszczenia energii zaprzecza zasadom termodynamiki. Można doprowadzić do pasji chemików albo fizyków, mówiąc, że ktoś „trwoni energię". (Spróbujcie, jeśli znacie jakiegoś chemika albo fizyka).

Zanim ruszymy dalej w rytmie mojego dnia, przedstawię wam jeszcze jeden interesujący eksperyment z modelem cząsteczkowym – możliwe, że najciekawszy ze wszystkich. Gdziekolwiek teraz siedzicie, otaczające was przedmioty odczuwacie jako różniące się temperaturą: ciepłe albo zimne. Ale w zamkniętym pomieszczeniu wszystkie przedmioty mają przecież taką samą temperaturę, a mianowicie **temperaturę pomieszczenia**. Dlaczego więc metalowa łyżka jest wyraźnie chłodniejsza niż drewniany stół?

No dobrze, jedna rzecz w tym pomieszczeniu nie ma temperatury pomieszczenia – jest to wasze ciało. Ono ma własną temperaturę i jest ona wyższa niż temperatura pomieszczenia (przynajmniej mam nadzieję, że tak właśnie jest). To, co czujecie, kiedy dotykacie łyżki czy drewnianego stołu, to nic innego, tylko temperatura waszego własnego ciała! Kiedy ciepło waszego ciała jest szybko odprowadzane, dotykany przedmiot odczuwacie jako zimny, kiedy zaś będzie ono odprowadzane powoli, czujecie, że ów przedmiot jest ciepły. Kiedy więc biorę do ręki łyżkę, atomy mojej dłoni uderzają w cząsteczki łyżki i wprowadzają je w ruch. Im szybciej poruszają się atomy metalu łyżki, tym cieplejsza robi się łyżka. Metal jest dobrym **przewodnikiem ciepła:** kiedy w atomy metalu uderzają atomy moich palców, ten ruch jest szybko rozprowadzany w łyżce. A dlaczego metal jest tak dobrym przewodnikiem ciepła? To zależy od rodzaju wiązań chemicznych wewnątrz metalu. W rozdziale 8 przyjrzymy się im dokładniej. Ale najpierw wyobraźcie sobie, że wiązania chemiczne w metalu to rusztowanie do wspinaczki wykonane z lin. Jeśli dziecko w czasie wspinaczki skacze na jednej z lin albo huśta się na niej, ruch ten szybko przechodzi na całe rusztowanie. Drugie dziecko – znajdujące się po drugiej stronie rusztowania – też będzie się huśtać. Jednocześnie ruch skaczącego dziecka będzie tłumiony, bo zadziała zasada zachowania energii:

przenosi ono energię swojego ruchu na sieć całego rusztowania i na drugie dziecko i w efekcie jego własne ruchy będą zwalniać. Patrząc od strony termodynamiki, należy to wytłumaczyć w następujący sposób: wolniejszy, bardziej pozbawiony energii – chłodniejszy.

Istnieją też rusztowania do wspinaczki wykonane ze sztywnych elementów. Kiedy jedno dziecko podskakuje na jednym z nich, nie ma to zbyt wielkiego wpływu na drugie dziecko na tym samym rusztowaniu. Ruchy pierwszego dziecka prawie nie będą wytłumione ani też dokądkolwiek przenoszone, dlatego też będą szybsze, a dziecko w efekcie będzie bardziej rozgrzane. Takie rusztowanie dobrze obrazuje zły przewodnik ciepła – drewno. Jeśli położycie rękę na drewnianym stole, wprowadzicie w ruch tylko te jego atomy, które znajdują się w bezpośredniej bliskości ręki. Ruch nie rozchodzi się dobrze w drewnie, a ono samo jest odczuwane jako cieplejsze niż metalowa łyżka.

Jeśli temperatura nie jest niczym innym niż jedynie ruchem cząsteczek, można lepiej zrozumieć **drugą zasadę termodynamiki**. Mówi ona, że ciepło zawsze przechodzi od ciepła do zimna, nigdy odwrotnie. Jeśli włożysz butelkę coli do wiadra pełnego kostek lodu, to nie zimno z lodu popłynie w stronę coli, lecz na odwrót: ciepło z butelki popłynie w stronę kostek lodu, one się ogrzeją, a butelka poprzez to się schłodzi. Jeżeli więc kiedyś usłyszycie, jak ktoś mówi: Zamknij okno, bo zimno wchodzi do środka – zaprzeczcie tej termodynamicznej bzdurze i powiedzcie: Masz chyba na myśli to, że ciepło wychodzi na zewnątrz! A jeśli do tego będzie was irytowało, że ktoś mówi o „trwonieniu energii", możecie niepostrzeżenie wmieszać się między nerdów. Gratulacje – właśnie opanowaliście wprowadzenie do fizykochemii! I stało się to, jeszcze zanim zdążyłam wypić swoją kawę.

Matthias wchodzi do kuchni i przepraszającym gestem gładzi mnie po głowie.

– Przepraszam, zapomniałem ci powiedzieć, że idę dziś pobiegać.

– Już dobrze – odpowiadam. – I tak muszę znów dopasować mój rytm snu.

W weekendy uwielbiam się wysypiać. Zawsze wtedy przechodzę w stan, który określam jako socjalny jet lag. Mój okołodobowy rytm nie rozróżnia oczywiście weekendów od dni powszednich. Weekendy to supersprawa, ale jednocześnie nowoczesna konstrukcja społeczna, z którą moje ciało nie za bardzo wie, co robić. Nasz naturalny poziom melatoniny jest mniej lub bardziej zależny od słońca, a jednak gdy ono wschodzi, jestem śmiertelnie zmęczona, za to wieczorem o wiele za późno kładę się do łóżka. Moje życie z kawą, sztucznym światłem i upiornymi budzikami ciągle dostarcza mojemu ciału fałszywych bodźców. Badacze zaobserwowali, że jeden tydzień mieszkania pod namiotem w przyrodzie, z dala od kawy, sztucznego światła i komórek, pozwala na nowo dopasować poziom melatoniny do czasu słonecznego. Niestety – nie lubię sypiać w namiocie.

To jednak rzeczywiście osobliwa sprawa: nasz wewnętrzny zegar funkcjonuje także bez światła. Na ziemi, której doba trwa 24 godziny, rozwinęliśmy się tak, że nasz wewnętrzny zegar ustawiony jest – z małymi odchyleniami – na dobę trwającą właśnie 24 godziny. Światło pomaga nam ustawić nasz wewnętrzny zegar, zsynchronizować dni i – na przykład dopasować się do jet lagu po dalekiej podróży samolotem.

W 2017 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie medycyny otrzymało trzech amerykańskich badaczy, którzy odkryli tajemnicę naszego wewnętrznego zegara. Umieścili oni muszki owocówki w dwóch osobnych pomieszczeniach, które opisali jako Nowy Jork i San Francisco, oraz zaaranżowali oświetlenie pomieszczeń zgodnie z rytmem słońca obu położonych na wybrzeżu miast. Co jakiś czas muszki były umieszczane w „samolocie” (szklany pojemnik) i podróżowały do drugiego „miasta”. Amerykanie obserwowali, jak muszki radziły sobie z jet lagiem trwającym trzy godziny, i ustalili, że za wewnętrzny zegar odpowiadają dwa różne geny. A jeśli chodzi o geny, chemia zaczyna być naprawdę ciekawa! Nasze **DNA** to nie tylko same molekuły – nasze **geny** zawierają zakodowane informacje o tym, co jest nam potrzebne do życia, a także

wiadomości na temat naszego wewnętrznego zegara. Owe kody mogą być odczytywane i tłumaczone, co przekłada się na produkcję **protein**. Mówiąc inaczej: geny mają swój plan, a proteiny wcielają go w życie. (Proteiny, czyli białka, to bardzo sprytne molekuły, o których dowiemy się nieco więcej w dalszej części książki). Oba zegarowe geny produkują więc dwie zegarowe proteiny. W ciągu dnia stężenie obu białek początkowo rośnie. Potem jednak łączą się one w całość i po stworzeniu takiego teamu są w stanie wcielić w życie właściwy plan genów, którym jest zahamowanie własnej produkcji. Tak, dobrze przeczytaliście. Proteiny te są produkowane po to, aby powstrzymać własną produkcję. Powodują one, że ich własnych genów nie można już „odczytać". Podobnie jak w przypadku kortyzolu i stresu, mamy tu do czynienia z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Jeśli nowe zegarowe proteiny nie są już produkowane, ich stężenie spada. W końcu jest ono tak niskie, że odczytanie genów nie będzie zahamowane – i wówczas produkcja protein rozpoczyna się na nowo. Całkowity cykl trwa właśnie 24 godziny. Dzień i noc są więc zakodowane w naszych genach.

Ja jednak czuję, że z moimi genami coś jest nie w porządku. Jestem przekonana, że moje ciało zaprogramowane jest na dzień trzydziestogodzinny – potrzebne mi są o wiele dłuższe dni i o wiele więcej snu. Chciałabym się poddać jakimś badaniom w tym kierunku.

– Muszę już iść – mówi Matthias.

Moja komórka wibruje. Ze zdziwieniem stwierdzam, że to Christine. O tej porze już nie śpi?

„Zdaje mi się, że Jonas umarł", pisze.

„Zaraz do ciebie zadzwonię", odpisuję.

Matthias, już w stroju do biegania, wsuwa głowę przez otwarte drzwi i pyta, czy ma wziąć klucz.

– Nie – odpowiadam. – I zamknij drzwi, ciepło ucieka!

ROZDZIAŁ 2

ŚMIERĆ Z POWODU PASTY DO ZĘBÓW

Gdzie jesteś? – pytam, kiedy Christine wreszcie odbiera telefon.

– W drodze do laboratorium. – Słyszę, że jest zdenerwowana.

– No więc co z tym Jonasem?

– Właśnie u niego byłam – prycha ze złością.

– A więc u niego nocowałaś? Co…

– Mai – przerywa mi – on używa NATURALNEJ PASTY DO ZĘBÓW.

– Co takiego?

– Bez fluorków.

O cholera, przemyka mi przez głowę. Jonas to przesłodki, miły fizyk. Od kilku tygodni on i Christine są parą. Poznałyśmy go dużo wcześniej przez naszego kumpla, Hannesa, także fizyka. I chociaż Jonas jest niesamowicie przystojny, Christine nigdy się nim nie interesowała. Ja określiłabym ją jako sapioseksualną, bo emocjonalnie i fizycznie pociągają ją tylko inteligentni faceci. Dopiero kiedy Hannes powiedział nam, że Jonas to „megamózg" i że był najlepszy w każdym semestrze, Christine nagle się na niego napaliła.

Tym bardziej przerażające wydało mi się, że facet używa pasty do zębów bez fluorków!

– Jesteś pewna? – pytam. – Może to tylko tubka? Teraz wszystkie firmy robią taki biomasowy marketing. Jest nawet ziołowa pasta do zębów z fluorkami.

– Nie, było napisane dużymi literami: „BEZ FLUORKÓW". Przeczytałam też spis składników.

– Aha, w takim razie co zawiera ta pasta, skoro jest bez fluorków? Czy ty…

– Teraz nie o to chodzi – przerywa mi.

Oho, jeśli Christine nie ma ochoty rozważać kwestii składników, sprawa rzeczywiście jest poważna.

– Wszystkiego mi się odechciało. Mam wrażenie, że Jonas dla mnie umarł.

Diagnoza jest jasna: śmierć z powodu pasty do zębów.

– Ale spytałaś go o to? Może nie zwrócił uwagi na skład, kiedy kupował tę pastę.

– Mówi, że fluorki powodują zwapnienie szyszynki. A nawet nie wie, gdzie dokładnie znajduje się szyszynka!

No tak, fizycy to nie chemicy, myślę.

– Hydroksyapatyt – dodaje ni stąd, ni zowąd Christine.

– Co takiego?

– To składnik zastępujący fluorek w tej ziołowej paście – prycha ponownie. – Śmieszne!

– Masz na myśli ten hydroksyapatyt w szkliwie zębów?

– Tak! Dlaczego coś takiego w ogóle jest dozwolone?

– Interesujące – odpowiadam.

– Zrób na ten temat wideo – kończy Christine. – Jestem już w laboratorium. Pomówimy później.

Wideo na temat fluorków i pasty do zębów to rzeczywiście dobry pomysł. Dla wielu ludzi kuriozalny jest fakt, że studiowałam chemię i przedłużyłam pracę nad doktoratem tylko po to, aby „robić coś w mediach". Ale ja jestem przekonana o słuszności moich działań. Aby służyć ludzkości jako naukowiec, wcale nie trzeba się ograniczać do prowadzenia badań w laboratorium. Równie ważne jest mówienie o nauce. Laicy bowiem mają ogromne trudności z dotarciem do

zrozumiałych i jednocześnie poprawnych informacji naukowych. W sieci można znaleźć wiele półprawd, a nawet fałszywych wiadomości, które sprzedawane są z szokującym przekonaniem o ich słuszności. Informacje godne zaufania można wprawdzie znaleźć w fachowych wydawnictwach, a aktualne wyniki badań naukowych – w czasopismach naukowych, ale forma podania w tych ostatnich to koszmar, i to nawet dla ekspertów. Nauka przypomina elitarny klub, którego członkowie posługują się jakimś tajemniczym kodem. Co prawda, ma to sens, kiedy eksperci posługują się między sobą swoim fachowym językiem. Ale przecież to absurd, że laik nie jest w stanie ich zrozumieć, choć większość badań jest finansowana ze środków publicznych. Wychodzi na to, że podatnicy nie mogą śledzić, co dokładnie się dzieje z ich pieniędzmi! Dlatego uważam, że w telewizji i na YouTube powinno się pojawiać więcej naukowców, aby to wszystko przystępnie tłumaczyli.

Zanim w spokoju dokończę swoją kawę, skupimy się na różnicy między fluorkiem a fluorem. Temat ten znakomicie pasuje do mojej teflonowej patelni, na którą zaraz wbiję przeznaczone na śniadanie jajko – miejcie to z tyłu głowy, podczas gdy zrobię mały wtręt:

Fluorki pochodzą od pierwiastka o nazwie **fluor**. Zerknijcie do układu okresowego pierwiastków (na przykład tego z tyłu książki) – znajdziecie tam fluor (F) w siódmej grupie głównej; pierwiastki znajdujące się w tej grupie zwane są także **halogenami.** Fluor to gaz, który zapachem przypomina chlor – halogen znany z basenu. Mam nadzieję, że nigdy nie będziecie próbowali go wąchać, bo fluor jest cholernie niebezpieczny.

Co mam na myśli, mówiąc: „cholernie niebezpieczny”? To, że nawet najmniejsze ilości gazu o nazwie fluor w powietrzu spowodowałyby poparzenia waszych oczu i płuc. Agresywność tego gazu należy przypisać wysokiej reaktywności fluoru. Ogólna zasada brzmi: im łatwiej i szybciej jakaś substancja wchodzi w reakcję chemiczną, tym bardziej jest ona niebezpieczna – bo nie da się jej skontrolować. Pewne substancje mogą być niebezpieczne i trujące także z innych powodów – ale o tym jeszcze sobie powiemy.

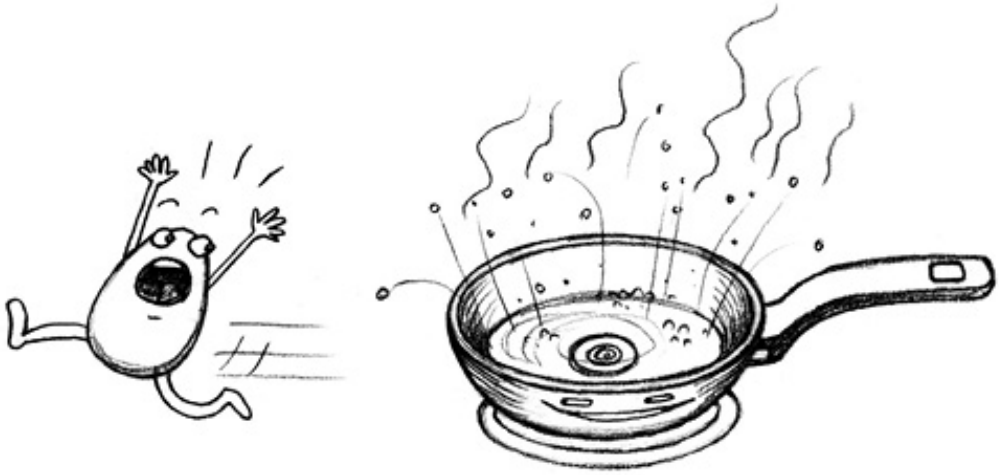
Gaz o nazwie fluor reaguje z wodą, tworząc kwas fluorowodorowy. Jeśli przez nieuwagę wyleje się go na rękę, poparzeniu ulegnie nie tylko skóra, ale kwas spenetruje też mięśnie, dotrze do kości i rozpuści je! Wobec takich właściwości pozostałe niebezpieczne kwasy, jak choćby kwas solny (odpowiedni kwas chloru), wydają się zupełnie niewinne.

A więc trzymajcie się z dala od pierwiastkowego fluoru i kwasu fluorowodorowego! Nie musicie na nic szczególnie uważać, bo i kwas, i fluor w czystej postaci na szczęście nie występują w przyrodzie (ani w paście do zębów). Mówi o tym kolejna zasada: im bardziej reaktywny jest dany pierwiastek albo związek, tym rzadziej występuje w przyrodzie. To właściwie logiczne. Bo skoro fluor jest tak agresywny, że błyskawicznie reaguje ze wszystkim, można założyć, że wszystko już z nim zareagowało.

Kwas fluorowodorowy można sporządzić w laboratorium. Nie dlatego, że jakaś zwariowana chemiczka postanowiła zapanować nad światem, ale z powodu… jajecznicy. W laboratorium chemicznym, odpowiednio wyposażonym pod względem technicznym, można sobie wyszukać stosownego partnera do reakcji chemicznej z kwasem fluorowodorowym. A wówczas można na przykład

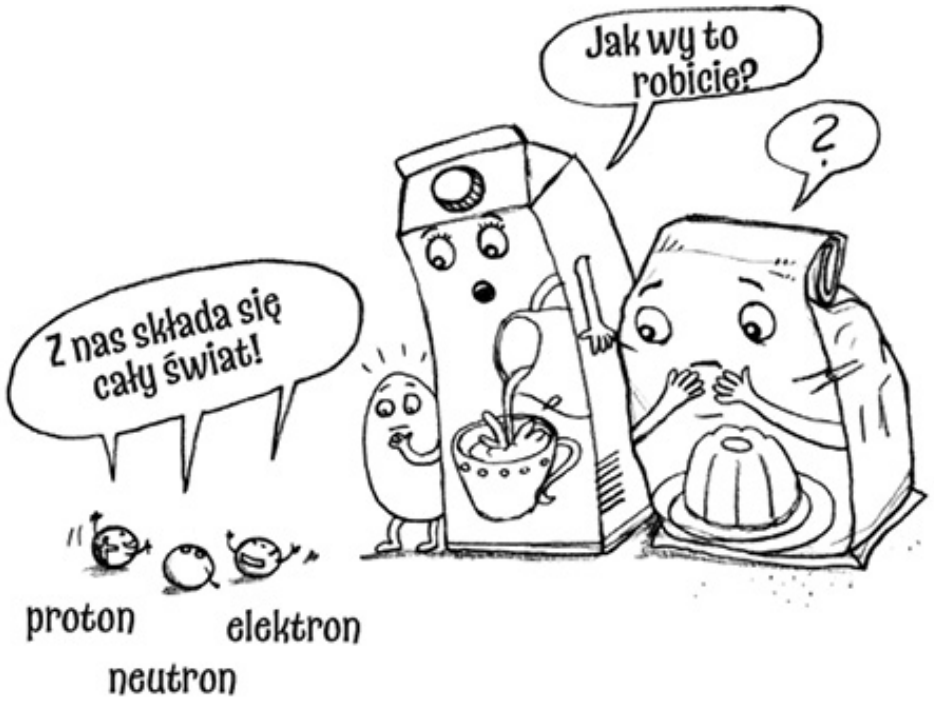
wyprodukować tworzywo zwane **politetrafluoroetylen,** w skrócie PTFE, znane także jako **teflon**! I znów jesteśmy przy moich jajkach na śniadanie.

A co z atomami fluoru, które siedzą na mojej teflonowej patelni? Czy mam teraz fluor w jajkach? Dobre pytanie – zgłębmy tę kwestię. Większość pierwiastków, także tych bardzo agresywnych i aktywnych chemicznie, występuje także w formie stabilnej, w której są niereaktywne. To, czy atom jest raczej agresywny, czy też raczej „wyluzowany", zależy od ich wewnętrznego składu.



W chemii, podobnie jak w życiu, istnieją wewnętrzne wartości, które zawsze się liczą (albo prawie zawsze; jeśli chodzi o model cząsteczkowy, wnętrze cząsteczek rzeczywiście nie odgrywa żadnej roli). Atomy często wyobrażamy sobie jako najmniejsze cząstki, najmniejsze składniki naszego świata – tyle że to nie do końca prawda. Atomy składają się z trzech różnych części: z **protonów, neutronów i elektronów**. **Protony są naładowane dodatnio, neutrony są elektrycznie obojętne, zaś elektrony mają ładunek ujemny**. Cały nasz świat w swej różnorodności składa się z trzech różnych komponentów. (Fizyk powiedziałby teraz coś innego, ale nie ma co niepotrzebnie komplikować sprawy). Jest to dość zdumiewające, bo jeśli połączę jajka, mąkę i mleko, po czym podgrzeję to wszystko, otrzymam a to naleśniki, a to zacierkę, zależnie od tego, jaka będzie ilość poszczególnych składników. I choć naleśniki i zacierka to dwie różne potrawy, mają ze sobą więcej

wspólnego niż złoto i tlen. A mimo to zarówno metal zwany złotem, jak i gaz zwany tlenem są zbudowane z trzech takich samych komponentów. Czy to nie jest niewiarygodne?



Ale co, jeśli nie komponenty, świadczy o tym, że złoto jest złotem, a tlen tlenem?

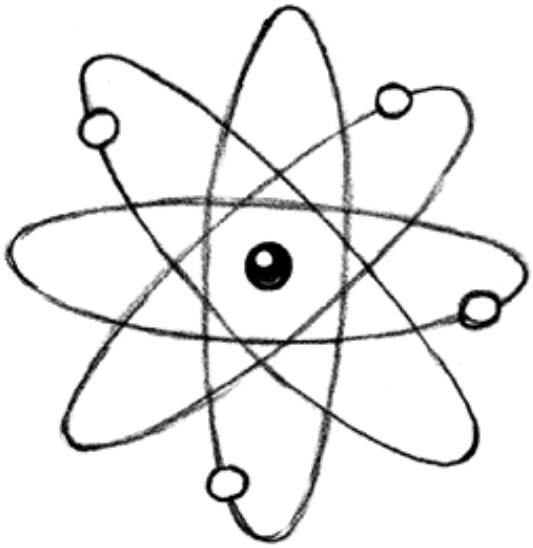
Rodzaj pierwiastka określany jest przez liczbę jego protonów. A to, ile dany pierwiastek liczy protonów, zdradza nam układ okresowy pierwiastków. Wszystkie pierwiastki są tu uporządkowane – ale w jakiej kolejności? Tak zwana liczba atomowa wyznacza kolejność w układzie okresowym pierwiastków. I owa liczba atomowa odpowiada liczbie protonów. Szybkie zerknięcie do układu okresowego pierwiastków pozwala nam stwierdzić, że: tlen znajduje się na pozycji 8. ma więc 8 protonów. Złoto znajduje się na pozycji 79. zbudowane jest więc z 79 protonów. I właśnie ta różnica oznacza, że tlen to tlen, a złoto to złoto.

Dawniej alchemicy – poprzednicy chemików – próbowali zamienić metale nieszlachetne na złoto. Dziś wiemy, że nie istnieje taka

technika laboratoryjna, która to umożliwia. Przyczyną tego jest budowa atomów.

Znacie może takie obrazki jak na następnej stronie?

Obrazek ten mówi nam, co następuje: atom składa się z jądra i otaczającej go powłoki elektronowej. Jądro składa się z dodatnio naładowanych protonów i obojętnych elektrycznie neutronów, w sumie więc jądro atomu naładowane jest dodatnio. Powłoka składa się z ujemnie naładowanych elektronów, które krążą wokół jądra.

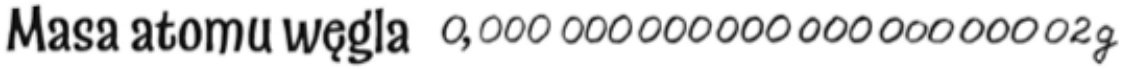


To, jak ciężki jest atom, zależy od jądra, a więc od liczby neutronów i protonów. Elektrony mianowicie ważą tyle co nic, dlatego nie ma sensu patrzeć na ich masę. To tak, jakby ważono słonie, na których grzbiecie leży kilka piór. Masę piór można śmiało pominąć. Jeden atom waży niewiele, bo jest bardzo drobniutki, ale atomy oczywiście mają swoją masę. W przeciwnym wypadku ani ta książka, ani wy nic byście nie ważyli.

Atom złota liczący 79 protonów jest znacznie cięższy niż atom tlenu ze swoimi 8 protonami. Do tego dochodzą jeszcze neutrony, a każdy neutron waży mniej więcej tyle co proton. Zgodnie z bardzo ogólną zasadą na jądro atomu przypada tyle samo neutronów co protonów. Jeśli zliczyć to wszystko razem, atom złota jest jakieś dwanaście razy cięższy niż atom tlenu.

W przeciwieństwie do tego objętość, a więc wielkość atomu zależy nie od jądra, lecz od powłoki elektronowej. Bo jądro atomu – w porównaniu z i tak drobniutkim atomem – jest tak małe, że można by pominąć jego objętość. To coś podobnego do waty cukrowej. Jeśli wata cukrowa jest powłoką elektronową, to patyk jest jądrem atomu. I tylko od waty cukrowej zależy, jak jest wielka. To, czy patyk jest troszkę grubszy, czy cieńszy, nie stanowi dla waty znaczącej różnicy. Wyobrażamy sobie jądro atomu jako tzw. masę punktową, czyli masę, która praktycznie nie ma objętości, lecz jest skoncentrowana na jednym maleńkim punkcie.

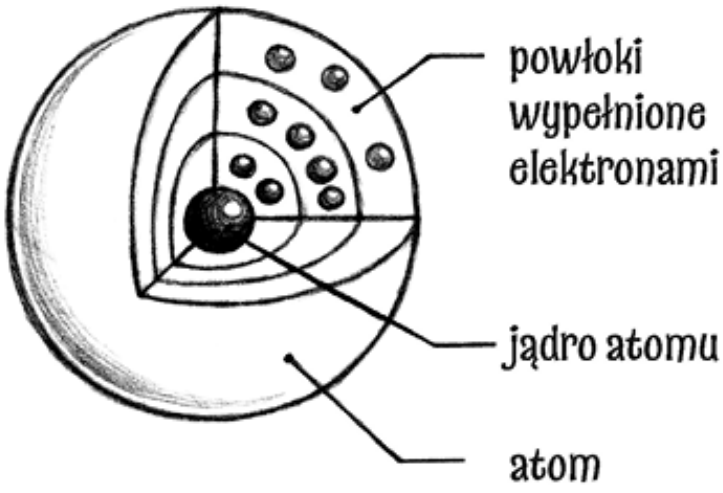
Wielkość atomu zależy więc od jego powłoki elektronowej. Zaś to, jak duża jest owa powłoka, zależy m.in. od liczby elektronów. W praktyce atom ma standardowo tyle samo elektronów co protonów. W ten sposób wyrównują się dodatnie i ujemne ładunki i ostatecznie mamy atom elektrycznie obojętny. W powłoce elektronowej atomu złota wiruje 79 elektronów, zaś w powłoce tlenu – tylko 8 elektronów. A ponieważ każdy elektron potrzebuje dla siebie trochę miejsca, atom złota ma większą powłokę elektronową niż atom tlenu. Dlatego atom złota jest ponad dwa razy większy.



Tyle na temat masy i objętości atomów. Zajmijmy się teraz ich naprawdę interesującymi właściwościami, a mianowicie właściwościami chemicznymi! W tym kontekście jądro atomu będzie dla nas mało interesujące, ponieważ nie bierze ono udziału w reakcjach chemicznych. Reakcje chemiczne przebiegają mianowicie tylko w powłokach elektronowych atomu i pomiędzy nimi. Dlatego nie można z żelaza zrobić złota – w tym celu należałoby dodać trochę protonów do jądra atomu żelaza, a to nie jest możliwe. Liczby protonów w jądrze atomu nie można tak łatwo zmienić (z wyjątkiem radioaktywności, gdzie ciężkie, niestabilne jądra atomów rozpadają się jedno po drugim). Dlatego tym bardziej

sensownie jest poświęcić więcej uwagi powłoce elektronowej. Teraz będzie naprawdę ciekawie!

Na przykładzie naszego modelu widzieliście, że elektrony krążą wokół jądra atomu. Był to jednak bardzo prosty model. Podobnie jak w modelu cząsteczki: **model nigdy nie opisuje realnego świata, lecz jest to uproszczony obraz.** Modele ogółem nigdy nie są ważne, lecz tylko po spełnieniu określonych warunków ramowych. (Podobnie modele fotograficzne nie wyobrażają realnego świata człowieka, lecz przedstawiają przypadek specjalny, warty obejrzenia względnie zgrabnie wyretuszowany). Ja – jak już pewnie zauważyliście na przykładzie modelu cząsteczkowego – kocham modele proste. Bo po co niepotrzebnie komplikować sprawę? Teraz pokażę wam model, na którego przykładzie można dość dobrze zrozumieć reakcje chemiczne – jest to tzw. model powłokowy.



Zgodnie z modelem powłokowym elektrony nie mogą krążyć wokół jądra dowolnie, według upodobań, lecz muszą to robić w określonych odstępach. Owe odstępy można porównać do łupin cebuli, które otaczają jądro (nazwałabym to „modelem cebulowym", ale nikt mnie prosił, żebym to nazwała). I podobnie jak Ziemia oraz pozostałe planety krążą w określonych odstępach wokół Słońca, elektrony krążą wokół jądra atomu. Dlaczego niektóre odstępy są zabronione? Związane jest to z mechaniką kwantową, bo tak drobniutkie cząstki jak elektrony nie podlegają już regułom fizyki

klasycznej, lecz fizyki kwantowej. Trudno nam sobie wyobrazić, co to jest fizyka kwantowa, bo wszystko, co widzimy i przeżywamy, odbywa się zgodnie z zasadami fizyki klasycznej. Zanurzyć się w mechanikę kwantową to trochę tak, jakbyśmy próbowali wyobrazić sobie kolor, którego jeszcze nigdy nie widzieliśmy. Zamiast tego wyobraźmy sobie coś innego: powłoki są jak rzędy krzeseł w kinie, na trwałe przymocowanych do podłogi. Można usiąść tylko na krzesłach, a nie między rzędami (nie miałoby to sensu, bo nic nie byłoby widać). Jak widzowie zajmują rzędy krzeseł? Powłoki elektronowe atomu każdego pierwiastka wypełniane są, począwszy od wnętrza strony zewnętrznej. Zawsze kiedy powłoka jest pełna, przychodzi kolej na kolejną. Szczególnie ważne są elektrony na zewnętrznej powłoce – tzw. elektrony walencyjne. Duży odstęp między nimi a jądrem powoduje, że ma ona wyjątkowe właściwości: im dalej powłoki oddalone są od jądra atomu, tym słabsza siła przyciągania między dodatnio naładowanym jądrem i ujemnie naładowanymi elektronami. W porównaniu z elektronami na wewnętrznej powłoce elektrony zewnętrzne są bardzo swobodne. I kiedy elektrony wewnętrzne są powolne i najchętniej pozostają w pobliżu swego dodatnio naładowanego jądra atomu, elektrony zewnętrzne są istotami ekstrawertycznymi, skłonnymi do reakcji i chętnie biorą udział w reakcjach chemicznych.

Poza tym, że elektrony zewnętrzne znajdują się najdalej od jądra atomu, jeszcze coś powoduje, że są one tak niespokojne: kiedy wewnętrzne powłoki elektronowe są całkowicie wypełnione, zewnętrzna powłoka elektronowa u wielu pierwiastków jest częściowo pusta. Liczba elektronów jest przecież ograniczona – odpowiada ona, jak już mówiliśmy, liczbie protonów. No i co – mogłabym teraz powiedzieć – nie mam nic przeciwko temu, skoro mam cały rząd krzeseł w kinie tylko dla siebie. Ale ja przecież nie jestem elektronem. Elektrony, przede wszystkim te ekstrawertyczne zewnętrzne, nienawidzą częściowo pustych rzędów krzeseł! Atomy są więc w złym humorze i koniecznie chcą wypełnić do końca swoje powłoki.

Ich życzenie jest wyrażone w osobliwy sposób: pierwiastki, w których powłoce zewnętrznej jest kilka wolnych miejsc, nie są tak

agresywne. Ale jeśli choć jedno miejsce nie jest zajęte albo jeśli w powłoce zewnętrznej znajduje się tylko jeden elektron, robi się nieprzyjemnie. Te pierwiastki, które przegapiły pełną powłokę, są najbardziej agresywne. To zupełnie jak w czasie mistrzostw świata w piłce nożnej – często najwięcej łez wylewa się w przypadku tej drużyny, która zajęła drugie miejsce; byli przecież tak blisko zwycięstwa.

Chemiczny temperament atomu związany jest więc z liczbą jego zewnętrznych elektronów. Nasz fluor ma ich siedem, jednak w zewnętrznej powłoce jego atomu zmieściłoby się osiem elektronów. Wolne jest więc dokładnie jedno miejsce – i z tej przyczyny fluor jest naprawdę zirytowany. Niezmordowanie szuka on brakującego ósmego elektronu u innych atomów i molekuł i nie spocznie, dopóki ostatnie miejsce nie będzie zajęte. Nawiasem mówiąc, fluor nie jest w tym osamotniony. **Prawie wszystkie pierwiastki z głównych grup układu okresowego chciałyby mieć osiem zewnętrznych elektronów. Pragnienie to zwane jest regułą oktetu**. Nazwa jest o tyle myląca, że nie chodzi o stałą zasadę w sensie praw fizycznych, lecz jedynie o model. Jest to bardzo praktyczny model, ściśle związany z modelem powłokowym. Bo za pomocą reguły oktetu można nie tylko wyjaśnić, które pierwiastki są szczególnie skłonne do udziału w reakcji, lecz także to, którzy partnerzy reakcji pasują do siebie. Każdy pierwiastek ma jakieś potrzeby, a spełnienie reguły oktetu może być jedną z nich. Aby owe potrzeby spełnić, dochodzi do reakcji chemicznych i powstania związków (właściwie tak samo jak u ludzi).

Fluor jest więc jak niemowlę, które chce jeść i robi dużo hałasu. Jeśli spełni się jego potrzeby, uspokaja się. (Rodzice powiedzieliby pewnie teraz coś innego…) Jak tylko fluor może wejść w nowy związek, dzięki któremu zyska upragniony ósmy elektron, dzieje się już niewiele.

A jak to się przekłada na moją patelnię? W przypadku teflonu fluor związany jest z węglem, którego właściwością jest to, że wielkodusznie dzieli się elektronami i powłokami z innymi atomami. (Jak dokładnie wygląda taki związek, wyjaśnimy w rozdziale 8). Trzeba by wiele energii, aby znów wyciągnąć fluor z tak szczęśliwego

stanu. Teflon należałoby rozgrzać do temperatury 360 °C, aby rozerwać takie wiązanie; a zalecana maksymalna temperatura dla teflonowej patelni wynosi 260 °C. (Optymalna temperatura dla mojej jajecznicy wynosi ok. 83 °C, potem białko się ścina).

Zgodnie z regułą oktetu atomy fluoru i węgla na mojej patelni osiągnęły wszystko, co może osiągnąć pierwiastek: pełną powłokę zewnętrzną. Chemiczny związek między fluorem i węglem jest więc prawdziwym przykładnym małżeństwem – nikt nie patrzy w stronę innych atomów bądź molekuł. Żadnej ze stron nie interesują nawet atrakcyjne proteiny jajecznicy, która właśnie skwierczy na mojej patelni.

Jeśli jedzenie przywiera do patelni, zachodzi interakcja między molekułami patelni i jedzenia. Teflon jednak w ogóle się nie interesuje moją jajecznicą. Prawdopodobnie fluor z mojej patelni wciąż wspomina swoją burzliwą młodość jako kwas fluorowodorowy i czuje ulgę, że ma za sobą tę część swojego życia. Mam wszystko, czego chcę. Zostawcie mnie w spokoju, myśli. A moja jajecznica mówi: No dobrze, już mnie tu nie ma – i nie pozostawiając żadnych śladów, zsuwa się z patelni na mój talerz.

Fluorki w paście do zębów są równie zadowolone jak atomy fluoru na patelni. Wspomniałam już, że nienaładowany (obojętny) atom posiada tyle samo protonów co elektronów, ponieważ w ten sposób ładunki elektryczne znoszą się wzajemnie. Atom jednak może być też naładowany – wówczas zwie się go **jonem**. **Ujemnie naładowany jon nazywamy anionem**, a powstaje on wtedy, gdy elektronów jest więcej niż protonów. Z kolei dodatnio naładowany jon to kation – powstaje wtedy, kiedy elektronów jest mniej niż protonów. Fluorek jako naładowany anion z ośmioma zewnętrznymi elektronami spełnił więc regułę oktetu i w zasadzie jest zadowolony.

Ale jak do tego doszło? Zagorzałym kandydatem i partnerem w reakcjach jest **sód**, członek pierwszej głównej grupy układu okresowego pierwiastków oraz członek grupy tzw. **metali alkalicznych**. Sód (Na) jest składnikiem związku, noszącego nazwę chlorku sodu, znanego jako sól kuchenna. Jako że ta nie zawiera jednak pierwiastkowego sodu, prawdopodobnie jeszcze nigdy nie dane wam było zobaczyć czystego sodu. Bo dokładnie tak jak pierwiastkowego fluoru w przyrodzie nie ma też tam pierwiastkowego sodu.

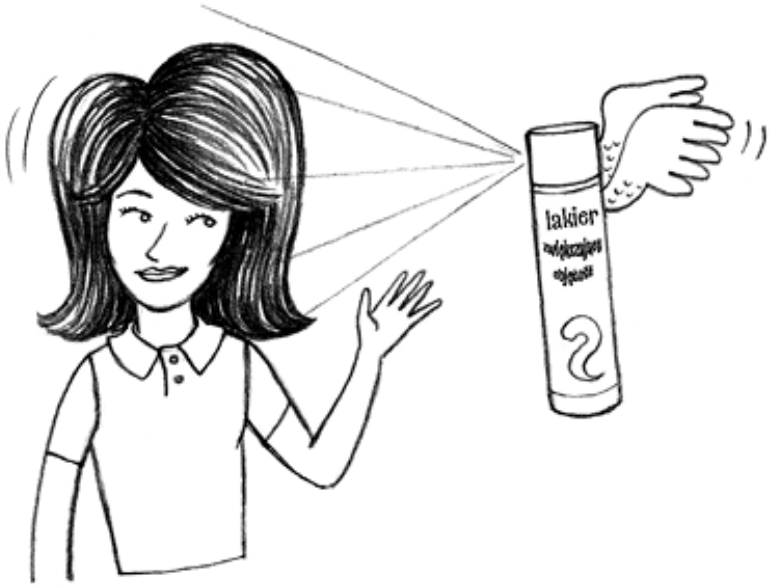
Sód to szary błyszczący metal, który jest tak miękki, że można go pociąć za pomocą noża. Brzmi całkiem przyjemnie, ale jeśli się wrzuci sód do wody, zajdzie bardzo gwałtowna reakcja. (Można ją obejrzeć na YouTube – ale nie należy naśladować!) Czyli sód to także kandydat agresywny i znakomity partner dla fluoru, bo atomowi sodu nie brakuje ani jednego elektronu, za to w zewnętrznej powłoce jego atomu siedzi – jak u wszystkich metali alkalicznych – samotny elektron, który wolałby opuścić ten atom, niż tkwić tam samotnie. Ów elektron chciałby więc pozbyć się sodu, i to szybko. Dobrze, kiedy pojawia się ktoś taki jak fluor. W ten sposób jeden i drugi pierwiastek mogą spełnić regułę oktetu. Po ich połączeniu powstaje **fluorek sodu**, czyli składnik naszej pasty do zębów. (Ta sama zasada dotyczy sodu i chloru oraz naszej soli kuchennej, czyli **chlorku sodu**).

Zawarty w paście fluorek nie jest zbyt reaktywny, ale „niereaktywny” nie znaczy automatycznie „nietrujący”. A więc jednak jest trujący? Śmierć z powodu pasty do zębów? I w ogóle po co tam

ten cały fluorek? I tak zaraz umyję zęby, wyjaśnimy to więc w łazience.

ROZDZIAŁ 3

ZATRZYMAJCIE CHEMIZM!



Każda łazienka to istne laboratorium chemiczne albo przynajmniej szafka z chemikaliami. Moi przyjaciele, którzy nie są chemikami, mawiają, że to nie jest miłe porównanie i brzmi jak groźba, że wszystko, co tam jest, jest trujące. Dlatego muszę uważać, kiedy próbuję zarazić moją miłością do chemii tych, którzy chemikami nie są. Bo o ile na przykład pierwiastkowy fluor oraz sód są nieprzyjemnie reaktywnymi towarzyszami, o tyle słowo „chemikalia" w gruncie rzeczy nie ma negatywnego wydźwięku. Bo czy to trujące, zdrowe czy też niezbędne do życia – na tym świecie nie ma substancji niechemicznych!

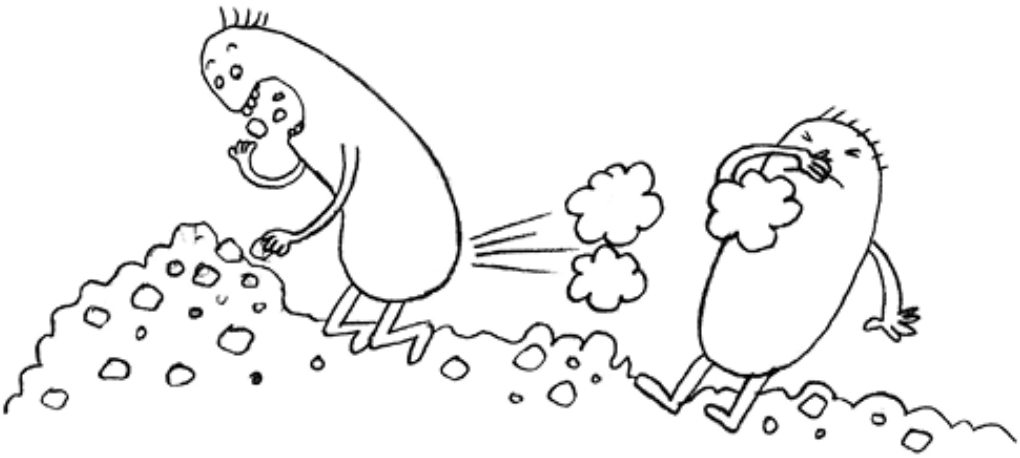
Chemia niekoniecznie jest trująca, choć bywa zaraźliwa: mój ojciec jest chemikiem, mój brat też. Christine, moja najlepsza przyjaciółka, również jest chemiczką, a ja w dodatku wyszłam za mąż za chemika. I przysięgam: wszyscy jesteśmy normalnymi ludźmi.

Mój ojciec dłuższy czas pracował w kosmetyce włosa. Oboje chętnie odwiedzaliśmy różne drogerie i zagłębialiśmy się w opisy składników na opakowaniach kosmetyków. Czasami w opisie szamponu wymieniony był składnik, który ojciec sam opracował w swoim laboratorium. Również ze względu na ojca zostałam chemiczką zajmującą się polimerami. Ten i ów chemik powiedziałby cynicznie, że polimery to plastik. To niesłychanie bezczelna i powierzchowna definicja. Nasz teflon, politetrafluoroetylen, to także polimer. Ale można również wyprodukować polimery kompatybilne biologicznie, jak środki do przenoszenia (transportowania) w naszym ciele medykamentów antyrakowych; polimery mogą być też bazą do wykonywania sztucznych organów. A więc to nigdy nie był i nie będzie plastik!

Polimery definiujemy jako wielkocząsteczkowe molekuły. Składają się one z wielu małych jednostek cząsteczek, tzw. **merów**, które połączone ze sobą tworzą długie łańcuchy. Także **polisacharydy**, czyli wielocukry albo poli(węglowodany), są polimerami. Ale wcale nie muszą być one sztuczne – występują także w przyrodzie w naturalnej postaci. Drewno oraz włókna roślin przykładowo składają się z włókien celulozy. A one też są polimerami. Tak samo jak nasze DNA. Świetne jest to, że polimery można wyprodukować także w laboratorium.

Mój ojciec opracowywał kiedyś polimery przydatne do lakieru powiększającego objętość włosów oraz do płukanek stosowanych przy rozdwajających się końcówkach. Już choćby z tego powodu uznałam chemię za interesującą. I właśnie jako chemiczkę dziwi mnie, że chemia stereotypowo postrzegana jest jako domena typowo męska. Czasami słyszę teksty w rodzaju: „Co robi chemiczka na YouTube? Przecież tam można znaleźć tylko makijażowe tutoriale!”. A dla mnie zagadką jest, jak można się interesować kosmetyką, ignorując chemię. Już sama produkcja kosmetyków

naturalnych, czyli mydeł i produktów ze składników pochodzenia naturalnego, wymaga zrozumienia chemii.



Tubka mojej pasty do zębów jest prawie pusta, wyciskam więc resztę na szczoteczkę, podczas gdy mój żołądek rozkoszuje się zjedzoną przed chwilą jajecznicą z chlebem, kawą i sokiem pomarańczowym. Śniadanie poddaje się procesowi przemiany materii i jest to wspaniała uroczystość, pełna gwałtownych reakcji chemicznych. Ale także w moich ustach sporo się dzieje. Przede wszystkim chleb i sok pomarańczowy zawierają coś, co wywołuje bardzo interesującą reakcję – jest to **cukier**. Poza tym sok pomarańczowy zawiera tyle samo cukru co cola, a chleb składa się z cukru względnie z węglowodanów, które nie są niczym innym, jak polimerami cukru.

Stale jemy cukier – i to w różnorodnej formie. Nie (tylko) dlatego, że jesteśmy zachłannymi potworami, ale ponieważ nasze ciało zamienia cukier w energię. Przede wszystkim nasz mózg pracuje na cukrze, dlatego za jego przyczyną polubiliśmy czekoladę i żelowe gumisie. Szkoda tylko, że to dość mało korzystne.

Cukier kochają też bakterie i mikroorganizmy, które żyją na naszych zębach. Kiedy czytacie te słowa, w waszych ustach kręcą się tysiące różnych rodzajów bakterii. No dobrze, w moich ustach też. Wraz z każdym pocałunkiem za pośrednictwem śliny wymieniamy tysiące owych bakterii. Jeśli czujecie obrzydzenie, przykro mi, ale

jako chemiczka cieszę się, że mogę obserwować świat w tak małej skali i rozmyślać o tym, czego nie można zobaczyć gołym okiem.

Bakterie żyją na płytce nazębnej. To cienka wodnista warstwa, która pokrywa nasze zęby. Płytka nazębna zwana jest też nieco mniej szarmancko osadem nazębnym. Producenci past do zębów i płynów do płukania ust lubią reklamować swoje produkty, używając określeń w stylu: „zwalczają osad nazębny". Nie chcę psuć im zabawy, ale całkowite pozbycie się osadu nazębnego nie jest możliwe. Można jedynie zmienić stan i warunki panujące w osadzie nazębnym, aby utrudnić życie żyjącym tam bakteriom.

Jeśli my jemy cukier i węglowodany, bakterie usuwają je, pochłaniając jedno i drugie z prawdziwą przyjemnością i niejako w ramach świadczenia wzajemnego wpompowują w osad kwas. Może to nie jest najlepsze porównanie, ale kiedy dokładnie w ten sposób wyjaśniłam to pięcioletniej córce jednego z moich przyjaciół, to nie było jej do śmiechu. Od tamtej pory dziewczynka ponoć z większą ochotą myje zęby. Wreszcie bakterie rozkładają cukier w ramach kompleksowego procesu chemicznego. Bo dokładnie tak samo jak u nas, w organizmach bakterii następuje przemiana materii – na przykład cząsteczki cukru zamieniają się w molekuły kwasu – a wszystko to bezpośrednio na powierzchni naszych zębów.

Szkliwo naszych zębów składa się w większości z minerału zwanego **hydroksyapatytem**. Ha! A więc to on, ten sam składnik, który zawiera pasta do zębów Jonasa, jako coś, co zastępuje fluorki. Już sama myśl o tym, że można czyścić zęby proszkiem do zębów, jest śmieszna. To nie tylko osobliwe, lecz także niezbyt skuteczne w walce z próchnicą. Jasne staje się to wtedy, kiedy zrozumiemy, czym właściwie jest próchnica: hydroksyapatyt w szkliwie naszych zębów nie lubi kwasów, bo je rozpuszczają. Co prawda bardzo powoli – z prędkością, z jaką robią się dziury w zębach – ale to i tak coś bardzo złego. Cukier, który jest zamieniany w kwas, to niejedyny problem; kwasy zawiera wiele produktów żywnościowych, na przykład sok pomarańczowy. A cukier plus kwas to dla zębów jeszcze większe zło. Także kawa jest kwaśna. Dlatego moja pasta do zębów zawiera fluorki, bo dzięki nim mogę zatrzymać rozpuszczanie mojego szkliwa nazębnego! W poprzednim rozdziale dowiedzieliśmy się, że

fluorki to ujemnie naładowane jony, a więc aniony. W hydroksyapatycie, minerale zawartym w naszych zębach, również siedzą aniony – tzw. aniony wodorotlenkowe. Ale fluorek jest mały i dociera niemal wszędzie, także do szkliwa naszych zębów. W czasie mycia zębów fluorek wnika w szkliwo i wyrzuca stamtąd jony wodorotlenkowe. Brzmi groźnie, ale to korzystny proces. Dzięki niemu na powierzchni zębów powstaje cienka warstwa twardszego i bardziej trwałego minerału zwanego **fluoroapatytem,** któremu kwasy już niewiele mogą zaszkodzić. Zęby rekina składają się prawie w stu procentach z fluoroapatytu, dlatego są szczególnie twarde, a ugryzienia rekina – wyjątkowo bolesne.

A więc jak działa pasta do zębów Jonasa, niezawierająca fluorków? Mówiąc krótko: niezbyt dobrze. Fluorki zostały zastąpione hydroksyapatytem, a więc minerałem rozpuszczającym szkliwo. Zamysł jest taki, że kiedy szkliwo nazębne się rozpuści, po prostu zastąpimy je nowym. Ale warstwa chroniąca przeciwko kwaśnej płytce nie może powstać tak łatwo. Próchnica się cieszy, Christine rozpacza, a Jonas jest przekonany, że fluorki prowadzą do zwapnienia szyszynki.

Ale czy fluorek w końcu jest trujący?

Jak mawiał Paracelsus – i będzie to bardzo ważne zdanie – „Wszystko jest trucizną i nic nie jest trucizną. Tylko dawka stanowi o truciźnie".

Większą ilością fluorku można się zatruć, a ostra, letalna (czyli śmiertelna) dawka dla dorosłego człowieka wynosi około kilku gramów. Nie przychodzi mi do głowy żaden realistyczny scenariusz, w którym poza laboratorium chemicznym ktokolwiek byłby narażony na zetknięcie się z taką ilością fluorku. Już w trakcie wyścigów w jedzeniu pasty do zębów każdy chyba zwymiotowałby, zanim organizm przyjąłby śmiertelną dawkę fluorków. Można jednak przedawkować fluor przy podawaniu go przez dłuższy czas i w efekcie doprowadzić do zachorowania na fluorozę szkieletową, może też się on przyczynić do wystąpienia kruchości i łamliwości kości. W fabrykach produkujących stal oraz ceramikę robotnicy pracują z materiałami zawierającymi fluorek, który w najgorszym przypadku wdychają przez wiele lat. W niektórych rejonach o większym zanieczyszczeniu środowiska (badania dotyczą rejonów Chin i Mexico City) woda pitna może zawierać większe stężenie fluorku, który przedostaje się do organizmu przez dłuższy okres. Na szczęście wartości graniczne w niemieckiej wodzie pitnej nie zostały przekroczone. (Więcej na ten temat w rozdziale 10).

A co z myciem zębów pastą zawierającą fluorki? Dawka fluorku w paście do zębów jest starannie badana – jej koncentracja jest skuteczna, ale nie krytyczna. Na mojej tubce pasty czytam: „1450ppmF-", a to znaczy, że każda jej siedemsetna część to jon fluorku. Więcej nie trzeba, bo kilka jonów fluorku na zewnętrznej powierzchni zębów to całkowicie wystarczająca ilość dla ochrony przed próchnicą. Chyba już wspomniałam, że takie samo stężenie w wodzie pitnej byłoby za wysokie, ale tu zawsze trzeba brać pod uwagę kontekst. Mycie zębów to miejscowy proces i możliwa do oszacowania ilość pasty do zębów, której większość się wypluwa. Chyba że mamy do czynienia z dzieckiem, które lubi zjadać pastę – dzieci lubią jeść wszystko, mój brat na przykład zajadał się piaskiem, jeśli tylko rodzice spuścili go z oczu. Na wszelki wypadek pasta dla dzieci zawiera mniej fluorku. Dzieci, zwłaszcza ząbkujące, są

szczególnie podatne na fluorozę zębów. Jej objawem są plamki na szkliwie – w najlepszym wypadku – białe, ale mogą być też ciemniejsze, żółte i brązowe.

Podsumujmy więc: fluorek w stężeniu występującym w paście do zębów zapobiega próchnicy, w większych ilościach jednak niesie ze sobą niebezpieczeństwo fluorozy – mimo to obawy Jonasa dotyczące zwapnienia szyszynki są mocno przesadzone. Te obawy jednak najwyraźniej bardzo się rozpowszechniły i są osobliwym fenomenem internetu. Na rozmaitych forach i grupach facebookowych internauci powielają naukowo bezzasadne bzdury: „Fluorki prowadzą do zwapnienia szyszynki!", „Fluorki powodują zwapnienie mózgu!", „Fluorki ogłupiają!". Często wklejają też linki do badań, ale jeśli dokładnie się sprawdzi zawarte pod nimi materiały, okazuje się, że te obawy nie znajdują potwierdzenia. Owszem, badania stanowią gruntowną bazę argumentacyjną, ale kiedy zaczynają nimi szastać laicy, robi się niewesoło. Adresatami publikacji naukowych nie są bowiem przypadkowe osoby, niezwiązane z daną dziedziną, ale eksperci, którzy prowadzą szczegółową wymianę myśli na najwyższym, fachowym poziomie. Jeśli badania nie są solidnie opracowane od strony naukowo-dziennikarskiej, istnieje poważne niebezpieczeństwo, że ci, którzy nie są ekspertami, albo źle je zrozumieją, albo wykorzystają w nieodpowiedni sposób.

Lęk przed zwapnieniem szyszynki z powodu używania pasty do zębów bazuje na bardzo pobieżnych badaniach. Główną winę za jego szerzenie ponoszą prawdopodobnie długofalowe badania przeprowadzone na kobietach ciężarnych w Mexico City. Wysokie stężenie fluorku w wodzie pitnej i środowisku naturalnym szło tam w parze z dużą liczbą innych zanieczyszczeń środowiska, m.in. z wysokim stężeniem ołowiu. U dzieci stwierdzono później lekko obniżone IQ, z silnym rozproszeniem statystycznym. Trzeba więc było przeprowadzić kolejne eksperymenty, zanim dało się sformułować solidne przypuszczenia. Przede wszystkim jednak z powodu generalnie silnego zanieczyszczenia środowiska wyników nie można było odnieść konkretnie do fluorku (nie mówiąc już

o fluorku w paście do zębów) ani też nie są one istotne dla Niemiec. Mimo wszystko badania te pojawiły się w mediach opatrzone nagłówkami typu: „Fluorki ogłupiają dzieci w łonie matki". Nie jest to dobry poziom dziennikarstwa naukowego.

Moja komórka znów wibruje.

„A wiesz, najlepsze jest to, że Jonas od trzech lat nie był u dentysty i nie pamięta swojej ostatniej dziury!!" – pisze Christine i dodaje wściekłą emotkę.

Nie mogę powstrzymać śmiechu, bo niemal widzę, jak się denerwuje. Ale jeśli Jonas nigdy nie miał i nie ma skłonności do próchnicy, właściwie może zatrzymać swoją pastę do zębów. Christine denerwuje się tylko z powodu jego szczęścia w niewiedzy. Nie każdy jest w takim samym stopniu podatny na próchnicę. Ja z pewnością nie zrezygnuję z fluorków, bo zaraz miałabym dziurawe zęby. Może ludzie mają po prostu inną płytkę nazębną, której pomaga mycie zębów – bo jego działanie polega głównie na neutralizowaniu wartości współczynnika pH. Pasta do zębów obok fluorków zawiera mianowicie inne ważne składniki, na przykład surfaktanty, czyli mydło (zaraz więcej na ten temat). Poza tym znajdują się w niej materiały ścierne, jak w mleczku do czyszczenia. Chcemy przecież pozbyć się wszystkich resztek jedzenia, prawda?

Jeśli bez fluorków nie macie próchnicy – róbcie swoje. Ale jeśli macie próchnicę, wyświadczcie samym sobie przysługę, używając normalnej pasty do zębów, która zawiera fluorki.

Płuczę usta i wchodzę pod prysznic. Zastanawiam się, jak nieznośnie śmierdzieliby ludzie, gdyby regularnie się nie myli. Powiedzenie „śmierdzieć jak zwierzę" prawdopodobnie nie miałoby sensu. Gdyby smród nam nie przeszkadzał, branie prysznica byłoby przereklamowane, przynajmniej w tej częstotliwości, jaka jest uważana za oczywistą w cywilizowanym społeczeństwie. Zaskoczę was: codzienny prysznic nie tylko nie jest konieczny, lecz także może wręcz zaszkodzić. Dlaczego? W tym celu musimy nieco lepiej poznać nie tylko naszą skórę, ale i nasz żel pod prysznic.

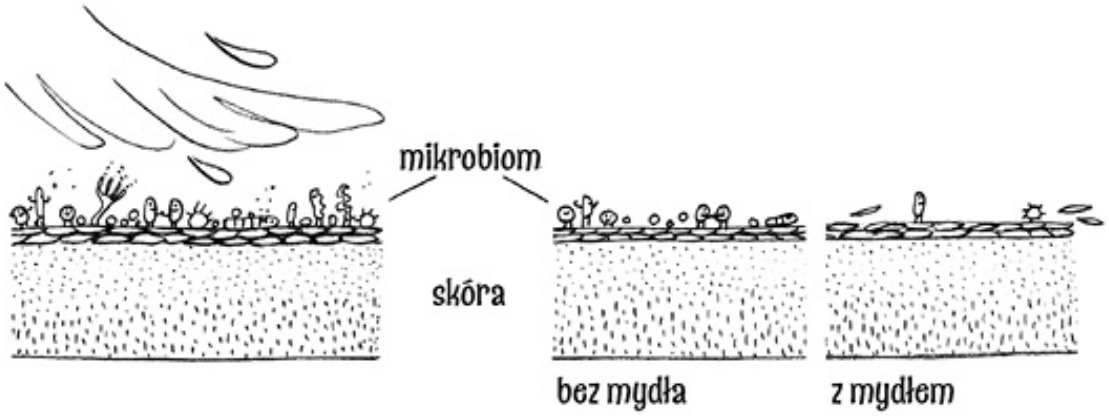
Nasza skóra, podobnie jak płytka nazębna, jest silnie „zaludniona” mikroorganizmami o przeróżnej wariacji. Nieprzyjemna może być sama myśl o tym, że w każdej chwili bakterie (i nie tylko one) pełzają po nas tam i z powrotem, ale owa mikroflora bakteryjna – zwana mikrobiomem – jest całkowicie niegroźna, a nawet pożyteczna. Skórę wraz z jej mieszkańcami możemy sobie wyobrazić jako kompleksowy ekosystem, który znajduje się w doskonałej równowadze.

Jednak istnieją również niezbyt miłe mikroorganizmy, takie jak zarazki chorobotwórcze, z którymi także mamy kontakt, zwłaszcza na poziomie rąk. Nasza skóra wprawdzie ich nie przepuszcza, ale jeśli potrzemy oczy albo dotkniemy jedzenia, zarazki przedostają się do wnętrza naszego ciała. Dlatego tak ważne jest mycie rąk mydłem. I tu docieramy do prawdopodobnie najważniejszej kwestii dotyczącej łazienkowej chemii – do **środków powierzchniowo czynnych (surfaktantów, tenzydów)**.

Wspomniałam już, że surfaktanty znajdują się także w naszej paście do zębów, ale klasyczny surfaktant to mydło – takie jak to do rąk albo szampon do włosów. Bez mydła mycie nie było tak skuteczne, bo nasza skóra jest hydrofobowa, co dosłownie można przetłumaczyć jako „nienawidząca wody”. Błony komórkowe komórek naszej skóry, jak też dzielące je przestrzenie są zbudowane z hydrofobowych molekuł, a materiały hydrofobowe nie mieszają się z wodą względnie nie rozpuszczają się w niej. Inne substancje hydrofobowe to oleje i tłuszcze. Dlatego zamiast „hydrofobowy” można powiedzieć „**lipofilowy”**, czyli „kochający tłuszcz”. Kiedy przygotowujemy dressing do sałatek składający się z octu i oleju, możemy dostrzec, że woda nie łączy się z olejem, lecz powstaje tzw. granica międzyfazowa. Molekuły wody i oleju nie chcą mieć ze sobą nic wspólnego, nawzajem się odpychają i separują.

Przeciwne pojęcie do „hydrofobowy” to **„hydrofilowy”**, czyli „kochający wodę”. Na przykład alkohol jest cieczą hydrofilową i dlatego daje się łatwo mieszać z wodą (na szczęście, bo inaczej w ogóle nie można byłoby go pić). Molekuły etanolu i wody dobrze się rozumieją i oddziałują na siebie wzajemnie, co znaczy, że się przyciągają. Także cukier czy sól jadalna są substancjami

hydrofilowymi i dlatego rozpuszczają się tak dobrze w wodzie, ale już nie w oleju. W zasadzie każdą substancję można umieścić w grupie hydrofobowych albo hydrofilowych, płynne jest tylko przejście. Nasza skóra, jak wspomniałam, jest raczej hydrofobowa. Jako taka chroni nas najlepiej, a przecież nie chcemy, aby się rozpuściła w deszczu czy pod prysznicem. Ale to oznacza także, że woda i skóra nieszczególnie dobrze na siebie oddziałują. Do tego dochodzi fakt, że pory naszej skóry produkują nie tylko pot, ale także łój – czyli tłuszcz, substancję hydrofobową. Również bakterie mają swoją skórę – jednokomórkowce mają membranę komórkową, która także jest hydrofobowa. A ponieważ łój i bakterie nie chcą mieć nic wspólnego z wodą, polewanie nią ciała nie robi na nich szczególnego wrażenia. Kto próbował usunąć tłustą plamę z odzieży, pewnie wie, o czym mówię.



Tysiące lat temu ludzie odkryli **mydło**, czyli **związki powierzchniowo czynne**. Te magiczne substancje można określić jako „kochające jedno i drugie”. W jednej molekule łączą one właściwości hydrofobowe i hydrofilowe. Klasycznie mydła są podłużnymi molekułami składającymi się z dwóch części: z długiego hydrofobowego ogona i hydrofilowej głowy. Popularnym modelem, który to wizualizuje, jest szpilka: wyobraźcie sobie, że tenzyd to maleńka szpilka, przy czym spiczaste zakończenie jest częścią hydrofobową, a główka częścią hydrofilową.

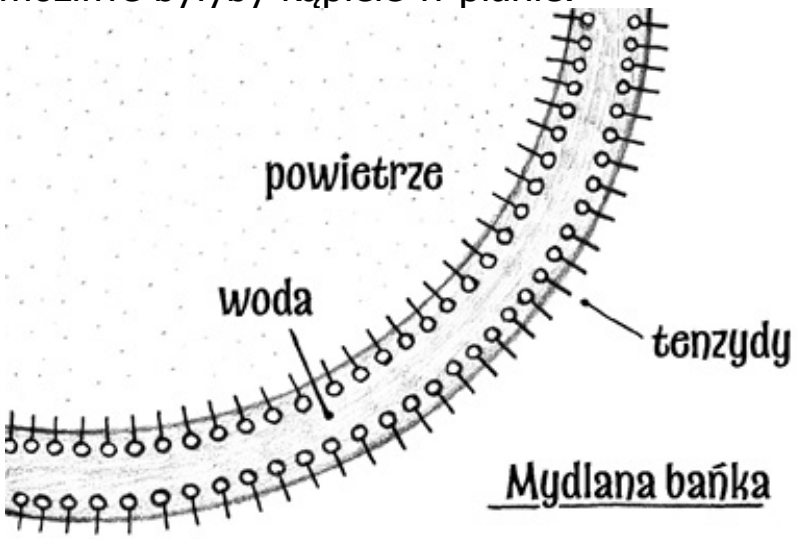
Jeśli tenzydy wrzuci się do wody, dzieje się coś fascynującego: cząsteczki same z siebie formują się i tworzą geometryczne struktury. Skłania je do tego fakt, że hydrofobowe ogony nie chcą mieć do czynienia z wodą i dlatego ustawiają się tak, aby kontakt z nią był jak najbardziej ograniczony. Dlatego tworzą tzw. **micele**, a robią to w taki sposób, że wszystkie hydrofobowe ogony zwrócone są do wnętrza molekuły, zaś hydrofilowe głowy – w stronę wody. Micele mogą mieć kształt kuli, pałeczki czy robaka.

Surfaktanty mają skłonność do organizowania się na powierzchniach granicznych; tę właściwość nazywamy **powierzchniowo czynną**. Jeśli do szklanki wlejemy oliwę i wodę z mydłem, większa część tenzydów zlokalizuje się na powierzchni granicznej między wodą a oliwą w taki sposób, że hydrofilowe głowy będą patrzyły w stronę wody, a hydrofobowe ogony w stronę oliwy. Dokładnie to samo dzieje się na granicy wody i powietrza. Powietrze tak naprawdę nie jest hydrofobowe, ale grunt, że to nie woda – tak myślą hydrofobowe ogony, kierując się w stronę powietrza, zgodnie ze słowami piosenki: „Wszystkie kaczuszki płyną po jeziorze, główki mają w wodzie, a ogonki w górze".

To dzięki temu zjawisku możliwe są kąpiele w pianie i mydlane bańki. Mydlana bańka jest wprawdzie bardzo delikatna, ale jednocześnie zadziwiająca stabilna. Przecież to pusta kula z wody, a jej cienka, zakrzywiona powierzchnia znajduje się pod ogromnym napięciem. Brzmi komicznie, prawda? Jak substancja płynna może być pod napięciem? A może! Dokładnie tak samo jak plastikowa

linijka, kiedy ją wyginacie – także woda jest pod napięciem, jeśli próbujemy zrobić z niej bańki. Mowa o tzw. **napięciu powierzchniowym** wody, z którym dokładniej zapoznamy się w rozdziale 10.

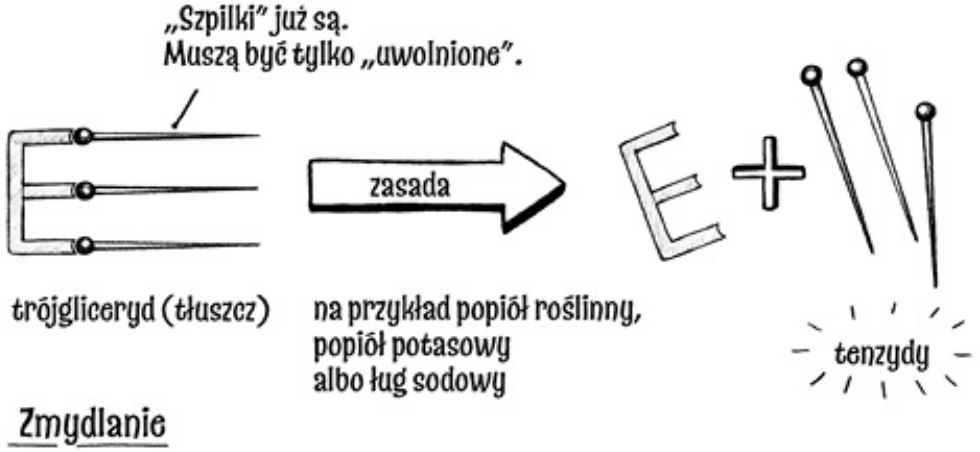
A na razie wyobraźmy sobie, że na powierzchni wody działają siły, które sprawiają, że staje się ona trochę sztywna. Ale tenzydy posiadają zewnętrzną powierzchnię i dzięki temu powierzchnia wody jest elastyczna i giętka. Sztywna plastikowa linijka staje nieco bardziej miękka i elastyczna i można ją łatwo zgiąć, nie obawiając się, że się złamie. **Surfaktanty zmniejszają więc napięcie powierzchniowe wody** i dzięki temu można bez trudu zrobić mydlane bańki i o wiele mniejsze, za to mocniejsze pęcherzyki, bez których niemożliwe byłyby kąpiele w pianie.



Ponieważ tenzydy to amfifile, czyli „kochają jedno i drugie", są wspaniałymi pośrednikami między substancjami hydrofilowymi, takimi jak woda, a hydrofobowymi, jak łój, brud czy też bakterie. Jeśli myjemy się wodą z mydłem, hydrofobowe substancje na naszej skórze mogą wniknąć do wnętrza miceli i w końcu zostaną wypłukane wodą. Ta sama zasada działa w przypadku środków do prania i innych środków czystości – a także pasty do zębów. To coś tak powszedniego, zwykłego – i jednocześnie genialnego.

Jak więc wytwarza się takie genialne małe szpilki?

W celu wyprodukowania pierwszych mydeł gotowano olej albo tłuszcz z popiołem roślinnym. Reakcja chemiczna, jaka wówczas zachodziła, została bardzo trafnie nazwana **zmydlaniem**. Substancją wyjściową zawsze był tłuszcz. Tłuszcze czy oleje, patrząc na nie od strony chemicznej, są **trójglicerydami**, to znaczy, że molekuła tłuszczu jest związkiem składającym się z trzech **kwasów tłuszczowych** [połączonych z cząsteczką gliceryny – przyp. red.]. One z kolei są predestynowane do tego, aby powstały z nich mydła, bo składają się z długiego hydrofobowego ogona, na końcu którego wisi **grupa kwasów**, która może być cudownie hydrofilową główką. I mamy coś na kształt szpilki. Jednak grupy kwasów wewnątrz trójglicerydu są ze sobą tak związane, że niemożliwa jest ich interakcja z wodą. Tłuszcz albo trójgliceryd można sobie wyobrazić jako trzy szpilki, których główki są ze sobą połączone. Główki kwasów można jednak uwolnić z takiego związku, zapraszając **zasadowego** partnera reakcji. Popiół roślinny zawiera sole zasadowe – sole potasowe, a jak wiadomo, **kwasy i zasady łatwo wchodzą ze sobą w reakcję.** Jeśli podgrzeje się tłuszcz wraz z solami potasowymi, trzy wiązania trójglicerydów zostaną rozbite i uzyska się wolne kwasy tłuszczowe, których kwaśne główki są **zmydlone**. Oznacza to, że grupa kwasowa jest naładowana ujemnie – podobnie jak jon fluorku. Zaś naładowane grupy przeważnie doskonale się dogadują z wodą (dlaczego, wyjaśnimy w rozdziale 10). I tak od tłuszczu przechodzimy do prawdziwego środka powierzchniowo czynnego.



Szare mydło nadal produkuje się w ten sposób, dziś jedynie używa się ługu sodowego (NaOH) zamiast popiołu roślinnego czy soli potasowej. Ta silna zasada nadaje się szczególnie dobrze do zmydlania. Reakcja zachodzi ze wszystkimi możliwymi tłuszczami, a w przypadku szarego mydła są to tradycyjnie tanie tłuszcze, jak łój, tłuszcze wieprzowe bądź tłuszcze kostne. Brzmi mało apetycznie, ale mydła z tych tłuszczów są naprawdę znakomite.

Dlaczego opowiadam wam to wszystko? Ponieważ wobec współczesnej tendencji do używania naturalnych mydeł uważam to za szczególnie interesujące. Naturalne mydła z czystego oleju kokosowego, czystej oliwy z oliwek albo czystego oleju z awokado są coraz bardziej popularne. Przeżywamy prawdziwy renesans tradycyjnego przepisu na mydło: czyste tłuszcze, zmydlane za pomocą ługu sodowego. Naturalne mydła to nic innego jak szare mydło, zastosowano w nich jedynie bardziej atrakcyjne tłuszcze zamiast łoju wieprzowego. Ich struktura chemiczna i chemiczne właściwości są bardzo podobne. Często naturalne mydła reklamowane są jako szczególnie łagodne i nadające się do pielęgnacji wrażliwej skóry. Jasne, kokos, oliwki czy awokado – to brzmi świetnie. Ale od strony chemii wygląda to zupełnie inaczej.

„Oryginalne" szare mydła, jak też „mydła naturalne", czyli pseudoszare i pseudonaturalne, odznaczają się jedną zasadniczą cechą: są bardzo skuteczne. Myją niezwykle dokładnie, ponieważ ich hydrofilowa grupa, czyli kwasowa główka, jest silnie hydrofilowa. Ale to jednocześnie oznacza, że mydła te są szczególnie agresywne. Oczywiście nie tak agresywne jak fluor, ale surfaktanty o dużej wydajności mogą podrażnić skórę albo ją wysuszyć. Dokładnie z tego powodu nie zaleca się codziennie brać prysznica, bowiem przez dokładne mycie naruszamy ochronny ekosystem flory naszej skóry, a to właśnie ona ją „pielęgnuje". Poza tym łój jest wytwarzany przez skórę nie tylko po to, aby denerwowały nas powstające w wyniku tego pryszcze, lecz również by chronić ją przed wysuszeniem. Jeśli skóra staje się zbyt sucha, mogą się pojawić niewielkie bruzdy, a wówczas nie będzie ona spełniała optymalnie swojego zadania. Przez bruzdy do wnętrza naszego organizmu mogą się dostawać bakterie i zarazki chorobotwórcze.

Można pomyśleć, że to i tak lepsze niż „chemia”. Wśród fanów naturalnych mydeł szczególnie nielubiany jest jeden związek powierzchniowo czynny: SLS, czyli **sodium lauryl sulfate** (tak przeważnie jest oznaczony na opakowaniach; właściwie nazywa się etoksylowany laurylosiarczan sodu). Kto go nie lubi, nie zazna szczęścia w drogerii, bo jest powszechny w szamponach i wyrobach kosmetycznych. To tenzyd syntetyczny – „chemiczny” – co dla niektórych jest powodem, by zastąpić go czystym mydłem na bazie oliwy. Ale litery „eth[1]” oznaczają, że ten tenzyd jest nieco łagodniejszym mydłem od szarego, dlatego też lepiej się nadaje do zastosowania w kosmetyce. Litery „eth”, występujące w słowie „ether” (eter w strukturze tenzydu jako szpilki można sobie wyobrazić jako rodzaj fragmentu przejścia między główką i ogonem, który to fragment na skali hydrofil-hydrofob znajduje się pośrodku. Im dłuższy jest ten fragment, tym słabsza jest siła czyszczenia – za to takie mydło jest łagodniejsze dla naszej skóry). Etoksylowany laurylosiarczan sodu nie jest więc bardziej agresywny tylko dlatego, że to syntetyczny tenzyd wytwarzany w laboratorium. Wręcz przeciwnie – właśnie laboratorium umożliwia produkcję najróżniejszych, łagodnych wariantów surfaktantu, które nie są dostępne w efekcie zwykłego zmydlania i które można zastosować na przykład w szamponach dla dzieci.

Lubię mydła naturalne, bo są przyjazne dla środowiska, ale jeśli ktoś ma skórę suchą lub wrażliwą, powinien do mycia rąk używać szarego mydła. Żałuję, że wszystkie syntetyczne tenzydy są wrzucane do jednego worka jako „chemiczne”. Nie przekonuje mnie też ogólny podział na mydła naturalne i chemiczne. Produkcja mydeł naturalnych to w moim pojęciu także chemia. Olej z awokado może być pochodzenia naturalnego (dziękuję chemii, że doceniła awokado), ale bez ługu sodowego nie będzie z tego mydła. Poza tym także w laboratorium można wyprodukować tenzydy przyjazne dla środowiska. Jednak te bez „chemii” sprzedają się lepiej. Można by to nazwać chemizmem, ale w ten sposób dyskryminujemy chemię, przypisujemy jej ogólnie złe cechy, a to absolutnie niesprawiedliwe. Zatrzymajcie chemizm!

Główny problem to sprytny marketing producentów kosmetyków, bez względu na to, czy chodzi o produkty „naturalne”, czy też „chemiczne”. Z punktu widzenia chemiczki mogę stwierdzić, że parę rzeczy się tu nie zgadza. Na przykład nowa tendencja określania środków czystości mianem wody micelarnej, szamponu micelarnego, chusteczek micelarnych. Owa nowatorska „technologia micelarna” to nic innego jak marketingowy gadżet, bo to oczywiste, że każdy produkt zawierający tenzydy zawiera także micele. Może ktoś powinien wprowadzić na rynek „micelarną pastę do zębów”. Już ją widzę: „Nowość! BEZ fluorków! Z technologią micelarną!”.

Słyszę dzwonek u drzwi. Otwieram i widzę spoconego i szczęśliwego Matthiasa. Odczuwam mieszaninę zazdrości i wyrzutów sumienia. Nie dalej jak wczoraj dostałam maila z mojego studia fitness. Jego tytuł brzmiał: „Nigdy nie jest za późno!”.

Matthias chyba potrafi czytać w moich myślach, bo mówi z szyderczym uśmiechem:

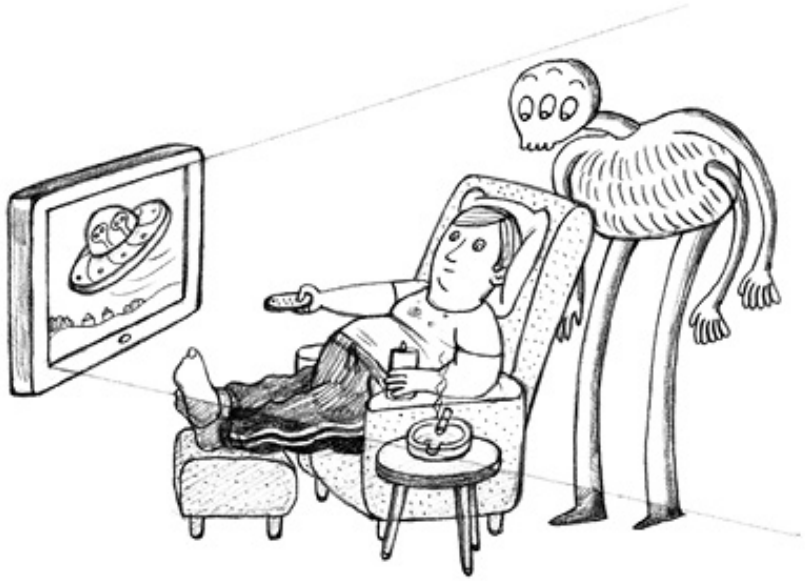
– Siedzenie i nicnierobienie to to samo, co palenie papierosów!

– Mhmm – odpowiadam i siadam za biurkiem.

1 Nazwa oryginalna: *Natrium Laureth Sulfat* – przyp. tłum.

ROZDZIAŁ 4

SIEDZENIE TO TO SAMO, CO PALENIE PAPIEROSÓW



Czy właśnie wygodnie siedzicie? Może więc powinniście jak najszybciej wstać, albowiem:

– siedzenie jest jak palenie papierosów;
– kto długo siedzi, wcześniej umiera;
– w Niemczech dwa razy więcej ludzi umiera z powodu braku ruchu niż z powodu palenia papierosów.

Często podróżuję służbowo. Jestem wówczas przeważnie *in action*, ale kiedy pracuję w domu, ruszam się stanowczo za mało. Czasami

jest naprawdę źle, bo pisanie wymaga ode mnie ogromnej pasji i wiele czasu. Często moja praca w domu wygląda następująco: wstaję razem z Matthiasem i prosto z łóżka wskakuję na krzesło przed komputerem, by „tak na szybko sprawdzić maile". Godzinę później w drzwiach staje Matthias – pozornie godzinę, bo tak naprawdę jest osiemnasta. A ja ciągle jeszcze jestem w piżamie i mam za sobą jedenaście godzin pracy. Tym bardziej więc powinnam zwracać uwagę na to, aby odpowiednio dużo się ruszać. Bo siedzenie jest jak palenie papierosów – to „naukowo udowodnione". A więc, drodzy palacze, od teraz żadnych papierosów w czasie siedzenia! Proszę się rozkoszować spacerem!

Bardzo, ale to bardzo ogólna zasada: jeśli coś jest „naukowo udowodnione" i jednocześnie zwariowane, to albo wcale nie jest naukowo udowodnione, albo wcale nie jest zwariowane. A w stwierdzeniu: „siedzenie jest jak palenie papierosów" jest wiele prawdy, ale też wiele przesady. Zacznijmy od złych wiadomości – tych prawdziwych. Choroby układu krążenia, nadwaga, cukrzyca typu drugiego, rak i depresja – wszystkie te choroby należy łączyć z *sedentary lifestyle*, jak nauka nazywa długie siedzenie. Chciałabym się dowiedzieć, jak długo przesiadywali nasi przodkowie. Czy oni też przy każdej okazji siedzieli w kucki na kamieniu albo na ziemi? I czy właśnie dlatego w którymś momencie zaczęliśmy robić krzesła? A może długie siedzenie zaprzecza naszej biologii i jest (niebezpiecznym) zjawiskiem kulturowym? Eksperci skłaniają się ku temu drugiemu stwierdzeniu.

W artykule *Pitting is the New smoking: where do we stand?* (Siedzenie to dziś jak palenie papierosów: gdzie jesteśmy?) doktor Benjamin Baddeley pisze:

„Gdyby przybysz z kosmosu zwiedził naszą planetę, byłby zdumiony bardzo nowoczesnym stylem życia ludzi, a szczególnie dziwiłby go nasz stosunek do wysiłku fizycznego. Po sześciu milionach lat bycia myśliwymi i zbieraczami można zaobserwować, że ludzie zaszywają się w ciepłych pomieszczeniach, siedzą w wygodnych fotelach, uwaleni przed świecącymi monitorami, aby

uniknąć oddziaływania siły ciążenia, są transportowani w dół i do góry mechanicznymi schodami pomiędzy piętrami, a nawet przemieszczają się między kontynentami w ciepłych skrzyniach. I co paradoksalne, tych samych ludzi można zaobserwować w trakcie spędzania «wolnego czasu», kiedy bez żadnego wyraźnego powodu, nie zważając na pogodę, biegają w kółko albo, co jeszcze bardziej osobliwe, wydają pieniądze na wizyty na siłowni, aby raz za razem podnosić jakieś ciężkie przedmioty lub biec w miejscu na przesuwającej się taśmie tak długo, aż są spoceni i czerwoni z wysiłku".

No tak, a ja wydaję pieniądze na siłownię i wcale tam nie chodzę. To taka szczególna forma bycia cichym udziałowcem, którą przypuszczalnie dzielę z wieloma biernymi członkami fitness clubów.

Rzeczywiście jesteśmy gatunkiem, który coraz częściej pada ofiarą *noncommunicable diseases* (w skrócie NCDs). To choroby, które nie są zakaźne, ale rozprzestrzeniają się jak współczesne epidemie. Chroniczne schorzenia, które postępują powoli. Cztery główne kategorie NCDs to choroby układu krążenia wieńcowego (jak zawał serca i udar), rak, chroniczne choroby płuc i cukrzyca typu drugiego. Te trzy ostatnie odpowiedzialne są za 71% zgonów na całym świecie, zgodnie z danymi WHO rocznie umiera z ich powodu 15 milionów ludzi między 30. a 69. rokiem życia. Nie piszę tego po to, by zepsuć wam humor. Piszę dlatego, że chorób NCDs w większości da się uniknąć. Na główne czynniki ryzyka mamy wpływ: palenie papierosów, nadmierne spożycie alkoholu, niezdrowe odżywianie się – oraz brak ruchu.

Od dawna wiemy, że brak ruchu jest dla nas niekorzystny, a sport bardzo dobry. Trafia nam do przekonania stwierdzenie, że niewiele się ruszamy, siedząc. Ale jak dalece jest to niebezpieczne?

Ten, kto jest przebiegły, musi jedynie sprawdzić w Google hasło „Siedzenie to dziś jak palenie papierosów". Można znaleźć kilka artykułów na ten temat. Często czytamy, że regularne uprawianie sportu nie usunie szkód związanych z długotrwałym siedzeniem. (Mój Boże, czyli właściwie wszystko jedno, czy pójdę do klubu

fitness, bo skoro tyle siedzę, i tak jestem stracona!). Ważne jest, aby nie siedzieć długo bez przerwy. Przynajmniej raz na godzinę należy wstać, a najlepiej używać takiego biurka, przy którym się stoi, inaczej – w efekcie długiego siedzenia – zmarnujemy wszystkie korzyści zdrowotne, na które w pocie czoła pracowaliśmy w czasie wolnym. Patrząc na to od tej strony, siedzenie to nie tylko zaniechanie zdrowego ruchu, ale też aktywne szkodzenie zdrowiu.

Co jest prawdą w tego typu wypowiedziach?

Chętnie odpowiem wam na to pytanie, ale najpierw musimy zaakceptować fakt, że w nauce często nie ma krótkich – i jednocześnie poprawnych odpowiedzi. Lubimy zakładać, że nauka wypracowuje jasne i oczywiste fakty, ale to niekoniecznie jest prawda. Nauka może produkować oczywiste liczby i wartości, ale ich interpretacja często jest tak kompleksowa, że trudno automatycznie wyłonić z tego prawdziwe fakty. Czasami pojawia się jakieś przypuszczenie i na drodze eksperymentów można znaleźć potwierdzenie jego słuszności. Ale to jeszcze długo nie czyni z przypuszczenia faktu.

Lubimy też zakładać, że „naukowo udowodnione" wypowiedzi są prawdziwe. Ale prawda często jest tylko sumą wszystkich dobrze uzasadnionych przypuszczeń. Nowe eksperymenty mogą prowadzić do kolejnego poznania, które z kolei prowadzi do tego, że wszystko, co dotychczas uznawaliśmy za „prawdziwe", musimy znów podać w wątpliwość. Kto chce myśleć naukowo, nie może zadowalać prostą odpowiedzią.

Przykład: powiedzmy, że zapraszam przyjaciół na kolację. Kolega z pracy, nazwijmy go Paul, jest u mnie pierwszy raz. Ani nie wiem, co lubi jadać, ani ile normalnie zjada. Podaję moje ulubione risotto, które z reguły wszyscy moi goście chwalą i zgodnie z moimi oczekiwaniami jedzą z przyjemnością. I tylko Paul nie może się uporać ze swoją porcją, choć głośno wychwala potrawę.

Pytanie: dlaczego Paul nie zjadł wszystkiego ze swojego talerza?

Odpowiedzi mogą być różne:

Paulowi nie smakowało.

Paul nie był głodny.
Paul generalnie nie jada dużo albo akurat jest na diecie.

Tak czy owak, odpowiedź nie musi być skomplikowana, prawda? A teraz zapytajcie naukowca. On ująłby sprawę w następujący sposób:

Paul zjadł mniej niż wszyscy uczestnicy przyjęcia. Możliwe więc, że Paul albo zjadł mniej niż przeciętnie, albo pozostali goście zjedli więcej niż przeciętnie. Paul był jedynym gościem, który nie zjadł wszystkiego ze swojego talerza. Także w przeszłości inni goście zjadali stale większe ilości tego samego risotto. Wszystko razem jednoznacznie wskazuje na to, że Paul ma jakiś powód do tak powściągliwego zachowania.

Przyczyny mniejszych ilości jedzenia mogą być bardzo różnorodne. Jedną z nich może być mniejsze niż przeciętnie odczuwanie głodu przez Paula, przy czym w tej chwili nie możemy ustalić, czy to ogólna zasada. Możliwe, że Paul zjadł na obiad więcej niż przeciętnie albo że generalnie wieczorem niewiele jada. Inną przyczyną mogą być upodobania smakowe Paula. Możliwe, że jedzenie mu nie smakowało. Mogło to wyniknąć z faktu, że generalnie nie lubi risotto na bazie kukurydzy. Przeciwko temu przemawiają jednak wypowiedzi Paula, które świadczyły o przyjemnych doznaniach smakowych. Choć w przeszłości zaobserwowano wielokrotnie, że takie wypowiedzi niekoniecznie muszą odpowiadać prawdzie, wzmacniają one społeczne związki z gospodarzem czy też powinny świadczyć o przestrzeganiu innych etykiet socjalnych. Ale ponieważ obecnie nie posiadamy informacji ani o innych upodobaniach żywieniowych Paula, ani o społecznych formach jego zachowania, należy traktować taką możliwość z dużą ostrożnością.

Możliwa jest także kombinacja kilku przyczyn, przy czym nie jesteśmy w stanie ocenić wagi ani znaczenia różnych czynników.

Konieczne są dalsze badania.

Jesteście tam jeszcze? A może wyłączyliście już swoje mózgi? Jeśli jeszcze nigdy nie czytaliście opracowania naukowego, wyobraźcie sobie, że wygląda ono dokładnie tak. Przysięgam, że nie przesadziłam. Jeśli zamiast tego przeczytamy artykuł w gazecie, z reguły nie będzie on napisany tak suchym i beznamiętnym językiem. To oczywiście sztuka dobrego dziennikarstwa naukowego, ale czasami „lżejszy" tekst może prowadzić do fałszywej – albo zbyt uproszczonej – interpretacji wyników badań.

Problem w tym, że niełatwo sprawdzić faktyczne wyniki badań na podstawie artykułu w gazecie. Oczywiście można się powołać na badania źródłowe, ale wyobraźmy sobie, że co czwarte słowo rozprawy na temat risotta jedzonego przez Paula będzie fachowym terminem – a to właśnie realny świat publikacji naukowych. Takie terminy są niezrozumiałe na różnych płaszczyznach! To po prostu inny język – język fachowy. Jest to tak szczegółowy i zróżnicowany bełkot, że cholernie trudno wyłapać z niego sedno sprawy. Rozprawa na temat risotta Paula teoretycznie napisana jest zrozumiałym językiem, ale czy potraficie podsumować związki między Paulem a risottem? Nie jest to takie proste, prawda?

Jasne staje się, jak ważny jest medialny przekaz nauki, bo jeśli sami chcielibyśmy przeczytać dane wyniki badań, często daleko byśmy nie zajechali. Nie mówiąc już o tym, że wiele wyników w ogóle nie jest dostępnych publicznie i za wgląd do nich trzeba zapłacić. Dlatego właśnie tak ważne jest dobre, rzetelne dziennikarstwo naukowe.

Każdy dziennikarz wie, że lubimy proste informacje. I zrozumiałe nagłówki. A najlepiej, żeby były proste i dramatyczne! I tak powstają nagłówki w rodzaju: *Siedzenie jest jak palenie papierosów* albo *Paul nienawidzi risotta z kukurydzą*.

Szum na temat niebezpieczeństwa, jakie niesie siedzący tryb życia, w międzynarodowych mediach stał się tak głośny, że stało się to przedmiotem badań. Australijscy naukowcy zajmujący się komunikacją ocenili około 50 artykułów (online i w druku) na ten temat. Wyniki są bardzo interesujące:

1. W około jednej trzeciej tekstów wyjaśniano, że długie siedzenie jest tak szkodliwe, iż całkowicie znosi korzystne dla zdrowia efekty uprawiania sportu. Stwierdzenie, że to równoważne z paleniem papierosów, wcale nie jest wobec tego na wyrost. Ale czy to prawda? Powiem krótko: nie! Jeśli więc w panice poderwaliście się z krzeseł, spokojnie usiądźcie. Istnieje wiele przesłanek naukowych wskazujących na to, że sport i ruch całkowicie kompensują efekty długiego siedzenia. Tym, którzy długo siedzą, zaleca się codzienny ruch przez godzinę do półtorej. A jaka to różnica, czy będę się codziennie „trochę" ruszać, czy „odrobię" moją całotygodniową powinność sportową w jednym dniu? Tak zwani *weekend warrios* – weekendowi wojownicy, którzy uprawiają sport tylko jeden do dwóch dni w tygodniu, mogą w ten sposób skutecznie przeciwdziałać efektom długiego siedzenia. (Słowo „tylko" z poprzedniego zdania powoduje, że mam coraz większe wyrzuty sumienia, kiedy to piszę).

Niebezpiecznie jest komunikować wszem i wobec, że siedzenie to sposób na zniszczenie sobie zdrowia. Niektórzy, słysząc hasło: „siedzenie jest jak palenie papierosów", natychmiast zabiorą się do wygrzebywania z szafy butów do biegania. Ci sami po Bożym Narodzeniu czują motywację, aby pędem udać się do fitness clubu w celu zbicia kalorii po świątecznych plackach i pieczeni z gęsi. Osobiście należę do ludzi, którzy w efekcie czują coś w rodzaju negatywnej motywacji i myślą: Teraz mogę olać siłownię, bo to już i tak nie ma sensu.

Jeśli spojrzeć od strony naukowej, siedzenie powinno się postrzegać jako bagatelizowanie ryzyka. Kiedy planujemy czas na ruch i sport, powinniśmy zawsze wprowadzić do równania również długie siedzenie. Tyle że wcale nie jest łatwiej doprowadzić do „krótszego siedzenia" niż do większej ilości sportu – to także fakt poparty naukowo. A jeśli dokładniej się przyjrzeć badaniom na temat weekendowych wojowników, należałoby codzienne siedzenie skrócić o kilka godzin, aby uzyskać podobne efekty, jakie przynosi uprawianie sportu przez jeden do dwóch dni w tygodniu. Jeśli chcemy wybrać: mniej siedzenia czy codzienny spacer, ewentualnie intensywny sport raz w tygodniu – powinniśmy najpierw zadać sobie pytanie: którą z tych możliwości wdrożymy najszybciej?

Działa tu ta sama zasada jak w przypadku diet: skuteczna jest ta, w której wytrwam. Wówczas można o wiele bardziej konstruktywnie zinterpretować wszystkie wyniki badań naukowych: nasze zdrowotne portfolio ruchu będzie bogatsze o kolejną aktywność – mniej siedzenia! Można na to spojrzeć jak na szansę dla ludzi, którzy nie chcą albo nie mogą uprawiać żadnego sportu. Chociaż nagłówek: *Siedzenie jest jak palenie papierosów* z pewnością bardziej do nas przemawia niż: *Nowy sport – mniej siedzieć*.

2. Autorzy jednej czwartej artykułów podkreślali, że szczególnie zagrożeni są pracownicy biur.

Jasne, w biurze dużo się siedzi. Ale jeśli spojrzeć na statystyki, można stwierdzić coś bardzo interesującego: siedzenie siedzeniu nierówne. Ktoś, kto siedzi długo w biurze, żyje zdrowiej niż ktoś, kto siedzi długo przed telewizorem. Czy to oznacza, że bez wyrzutów sumienia mogę siedzieć w biurze, a przed telewizorem powinnam stać?

To świetny przykład na to, że z samego liczenia nie wynikają żadne sensowne fakty. Pozwólcie mi wyjaśnić, w jaki sposób powstaje ta współzależność. W biurze pracuje ktoś o wysokim statusie społeczno-ekonomicznym, odpowiednim wykształceniu i określonym standardzie życia. To czynniki ogólnie sprzyjające, jeśli chodzi o lepsze zdrowie – fizyczne i psychiczne. Patrząc więc od strony statystyki – ludzie bogatsi są zdrowsi.

Wysoki poziom „konsumpcji" telewizji jest za to związany raczej z niskim statusem społeczno-ekonomicznym, niskim poziomem wykształcenia i wyższym wskaźnikiem bezrobocia. Te czynniki korespondują odpowiednio z gorszym zdrowiem psychicznym i fizycznym, a również z niezdrowym sposobem odżywiania się. Weźmy bowiem pod uwagę, że nadużywając siedzenie przed telewizorem, jesteśmy narażeni na bodźce w postaci reklam niezdrowego jedzenia.

Jak widać, ustalenie wpływu siedzenia na zdrowie na podstawie powyższych danych jest praktycznie niemożliwe. Mówiąc inaczej: to, że oglądanie telewizji jest związane z wysokim ryzykiem wystąpienia

NCDs, nie oznacza automatycznie, że siedzenie w tym kompleksowym równaniu stanowi niebezpieczeństwo.

Jedno natomiast możemy stwierdzić z całą pewnością: *noncommunicable diseases* są ściśle związane ze statusem społeczno-ekonomicznym. W perspektywie międzynarodowej okazuje się, że 80% NCDs dotyczy krajów o niższym poziomie dochodów. Jest to o tyle istotne, że typowy urzędnik – patrząc globalnie – nie jest najczęstszą ofiarą NCDs.

3. Autorzy ponad 90% artykułów twierdzą, że każdy sam odpowiada za to, czy się rusza.

Czy tak faktycznie jest? Napisałam już, że jesteśmy w stanie uniknąć ryzyka związanego z zapadaniem na choroby NCDs, bo mamy wpływ na czynniki za nie odpowiedzialne. W tym miejscu muszę wyjaśnić to dokładniej, aby nie popełnić błędu autorów większości artykułów na ten temat. Oczywiście to ja jestem odpowiedzialna za to, aby wprawić w ruch swoje mięśnie. Ale jest też wiele innych czynników, które wpływają na siłę mojej woli. Na przykład czerpię zyski z dobrobytu, który umożliwia mi wydawanie pieniędzy na siłownię (a nawet jestem na tyle zamożna, że moja składka członkowska nie stanowi dla mnie dostatecznej motywacji, aby w ogóle udać się do fitness clubu). Poza tym jestem niezależna, nie mam nad sobą szefa ani kolegów, którzy patrzyliby na mnie krzywo, kiedy co godzinę wstaję z fotela i robię kilka pajacyków. I o ile umiem to dobrze ocenić, cieszę się zdrowiem psychicznym na tyle, że umożliwia mi ono troskę o moje zdrowie fizyczne. I tak dalej, i tak dalej.

„Po prostu więcej się ruszać". Łatwo powiedzieć, o wiele trudniej zrobić. Fakt, że 80% chorób NCDs występuje w krajach o niższych dochodach, jest związany nie tyle z siłą woli ich obywateli, ile z ich statusem społeczno-ekonomicznym i wieloma kompleksowymi współzależnościami.

Jeśli chcemy zwalczać NCDs, istnieje wiele środków, po które możemy sięgnąć. Wszystko rozpoczyna się od edukacji i informacji, potem mamy konkretne kroki i środki, które może wdrożyć

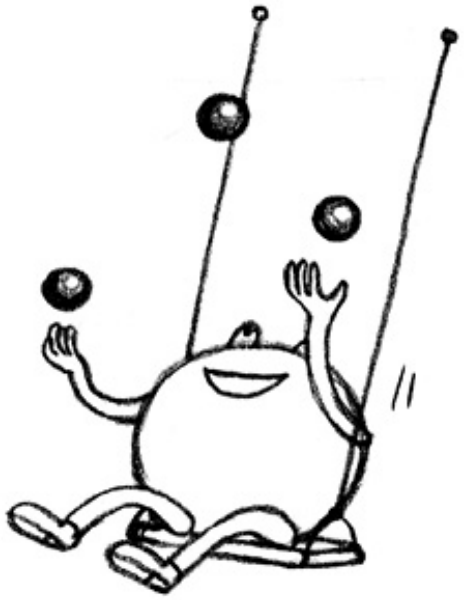
pracodawca, o ile w firmie jest możliwe przestawienia biurka i innych mebli i o ile istnieją przerwy przeznaczone na ruch.

Co uznam za przydatne w mojej zawodowej codzienności? Nie będę robić sobie wyrzutów z tego powodu, że nie daję rady regularnie chodzić na siłownię, przynajmniej dopóki nie skończę tej książki. Zamiast tego każdego dnia zrobię sobie godzinną przerwę, wstanę zza biurka i wykonam dwadzieścia pajacyków. Albo wieczorem pójdę na spacer. Albo jedno i drugie. To wy decydujecie o tym, co uznacie za korzystne dla siebie. Przede wszystkim jednak nie możemy się zadowalać krótkimi i prostymi odpowiedziami, lecz przeczytać wiele stron na dany temat. Bo słuszne decyzje możemy podjąć dopiero wtedy, kiedy coś dokładnie zrozumiemy.

A więc teraz zrobię sobie przerwę na ruch. Idziecie ze mną?

ROZDZIAŁ 5

Naturalnie chaotyczna



A co robisz poza tym? Oprócz YouTube?

Większość ludzi sądzi, że oprócz działania na moim kanale muszę robić coś jeszcze. I rzeczywiście tak jest, ale tylko dlatego, że jestem szalona. Wyprodukowanie jednego naukowego filmu wideo na tydzień to zupełnie wystarczająca praca pełnoetatowa, w czasie której wcale bym się nie nudziła. Takie wideo jednak trzeba nagrać i obrobić. Dokładnie tyle samo czasu, a przeważnie dużo więcej zajmują poszukiwania i wymyślenie scenariusza. Zanim miałam w swoim mieszkaniu połączenie światłowodowe z internetem, tygodniowo jeden dzień zajmowała mi sama transmisja danych,

a jeśli operuje się danymi wideo, jest to zwykle kilka gigabajtów. Wysłanie karty pamięci pocztą czasem może trwać krócej.

Właśnie się uporałam z kolejnym montażem, teraz trzeba jeszcze przesłać wideo na serwer. Moje filmy pojawiają się online w każdy czwartek o 6.30 rano, ale mogę je przesłać wcześniej i ustawić czas publikacji.

Niekiedy film wideo jest gotowy zaledwie kilka godzin wcześniej, czyli w środku nocy. Tak to właśnie jest, kiedy oprócz prowadzenia kanału robi się coś innego. Czasami na moich filmach widać moje biurko – oczywiście pięknie posprzątane. Ale to tylko fasada. Moje biurko w regularnych cyklach staje się polem czystego chaosu. A przecież nie jestem człowiekiem z gruntu chaotycznym. Niektóre dziedziny mojego życia są znakomicie zorganizowane, na przykład mój kalendarz i moje maile – generalnie wszystko, co mogę uporządkować elektronicznie. Pomijając moją szafę – tam wszystkie ubrania mam poukładane kolorami – w świecie analogowym muszę zadać sobie dużo trudu, aby utrzymać porządek. Jest tak, zwłaszcza od kiedy pracuję w domu i nikomu nie przeszkadza mój bałagan, chaos ten regularnie eskaluje. I choć bardzo lubię przyjmować gości, nikomu nie wolno zjawić się u mnie bez uprzedzenia – mógłby akurat trafić na kolejną fazę totalnego chaosu, a ten mogą zobaczyć tylko najbliżsi przyjaciele.

Dlaczego właściwie nieporządek jest czymś przykrym i wstydliwym? Nie widzę żadnego logicznego powodu, dla którego miałabym się tego wstydzić. Czasem słyszę stwierdzenia w rodzaju: kto nie ma pod kontrolą swojego biurka, ten nie kontroluje też własnego życia. Ale takie teorie mnie nie przekonują. Gdyby chaos miał mnie w czymkolwiek ograniczać czy też mi szkodzić, potrafiłabym wziąć się w garść i zapanować nad nim, bowiem niewiele jest rzeczy, których nie znoszę tak bardzo jak braku efektywności. Zawsze wiem, gdzie co mam. I jak tylko zaczynam tracić czas na szukanie tego czy owego, jest to sygnał, że trzeba zrobić porządek. Ogółem zyskuję dzięki temu więcej czasu, ponieważ w sumie tracę go mniej na sprzątanie. To przecież całkiem logiczne. Nie jestem chaotyczna, tylko zwyczajnie pragmatyczna!

Wiem jednak, że porządek wydaje się stanowić jedną z ludzkich potrzeb. Porządek i odpowiednie zachowanie idą ręka w rękę i istnieją naukowe wskazówki, które to potwierdzają. Już sama woń cytrynowego środka do czyszczenia może sprawić, że zaczynamy się zachowywać bardziej poprawnie, co zaobserwowała psycholożka Katie Liljenquist. Umieściła ona dwie grupy testowe w dwóch pomieszczeniach, które były urządzone w taki sam sposób, ale pomieszczenie A było neutralne, jeśli chodzi o zapach, zaś pomieszczenie B spryskano cytrynowym środkiem do czyszczenia. Co zadziwiające, uczestnicy eksperymentu w pomieszczeniu B zachowywali się bardziej fair i byli bardziej wspaniałomyślni w czasie zainscenizowanej zabawy, byli też bardziej skłonni do tego, aby oddać coś na rzecz organizacji charytatywnej. Czy było to związane ze skojarzeniem z czystością, czy też sam zapach cytryn ma tak magiczne działanie?

Kilka lat później inna psycholożka – Kathleen Vohs – zajęła się tym problemem dokładniej. Umieściła dwie grupy testowe w pomieszczeniu uporządkowanym i takim, w którym panował nieład. Poleciła uczestnikom eksperymentu wykonać różne niezwiązane ze sobą zadania oraz odpowiedzieć na zawarte w ankietach pytania, wśród których było wezwanie do przekazania darowizny. Okazało się, że – podobnie jak poprzednim eksperymencie – moralność szła ręka w rękę z porządkiem: uczestnicy w czystym pokoju byli gotowi do przekazania większej darowizny niż ci, którzy przebywali w chaosie. Pod koniec eksperymentu uczestnikom zaoferowano poczęstunek: mogli wybrać albo jabłko, albo coś słodkiego. Ci, którzy spędzili czas w posprzątanym pomieszczeniu, znacznie częściej sięgali po jabłko, zaś „bałaganiarze" woleli niezdrowe słodycze. Wniosek? My, ludzie, najwyraźniej potrzebujemy porządku, aby zachowywać się należycie.

Lubię powoływać się na różne studia psychologiczne, bo to często lepsze historie niż chemiczne doświadczenia. Niestety ciągle muszę zadawać sobie pytanie, na ile takie badania są powtarzalne. Co rozumiem przez powtarzalność? Jeśli przeprowadzę te same badania za pomocą tych samych metod, ale z udziałem innych uczestników eksperymentu, wynik będzie ten sam. Odpowiedź niestety brzmi: nie

zawsze. A traktując sprawę bardziej pesymistycznie, można nawet stwierdzić: niezbyt często.

W 2015 roku opublikowano projekt, przy którym w ramach dużego testu współpracowało ze sobą 270 naukowców: zajęli się oni 98 opublikowanymi badaniami psychologicznymi i powtórzyli je. Ten sam wynik osiągnięto przy mniej niż połowie powtórzonych badań. To bardzo poważna sprawa. Dlaczego? Co jest tego przyczyną? Jak, do diabła, w ogóle mogło do tego dojść?

Jest to kwestia **metod naukowych,** a więc rodzaju i sposobu pobierania danych oraz ich oceny. Jeśli interesujecie się nauką, zapamiętajcie jedno: **wyniki badań naukowych powiedzą wam niewiele, jeśli nie jesteście w stanie prześledzić, na jakiej drodze zostały one uzyskane**.

Przyjrzyjmy się temu dokładniej. Wyobraźcie sobie, że opracowaliście i wykonaliście pewien medykament i chcielibyście sprawdzić jego skuteczność na drodze badań klinicznych. Metodyczny złoty standard to tzw. **randomizowane badanie kontrolowane** (zwane krótko RCT od *randomised controlled trial).* Cóż za trudne pojęcie! Ale warto je zrozumieć, jeśli w przyszłości ktoś będzie chciał wcisnąć wam jakiś artykuł pod hasłem „wyniki nowych badań". Wówczas możecie wykonać RCT-check i lepiej przyporządkować owe wyniki.

Przeanalizujmy krótko to pojęcie – randomizowane badanie kontrolowane. W zasadzie dla wszystkich powinno być jasne, co to są badania. Ale dlaczego badania są nierówne badaniom, będzie jasne wtedy, gdy dokładniej się przyjrzymy obu przymiotnikom.

Zacznijmy od „kontrolowane". W tym celu wróćmy do medykamentu, który potencjalnie opracowaliście i chcecie przetestować. Wyobraźmy sobie, nieco żartobliwie, że to medykament przeciwko prokrastynacji, czyli bardzo niekorzystnemu przyzwyczajeniu do odsuwania na później ważnych zadań i wykonywania ich na ostatnią chwilę. (Nie ma takiego medykamentu, ale gdybyście go opracowali, moglibyście zbić fortunę!) Co teraz robicie? Kiedy ów medykament zostanie starannie przetestowany w laboratorium na komórkach i zwierzętach, kolej na badania kliniczne. Podajecie specyfik jak największej liczbie osób

i obserwujecie, czy osoby te są w efekcie bardziej produktywne i odsuwają na potem mniej zadań. Ale to nie wystarczy – potrzebny wam **eksperyment kontrolny**, który przeprowadzicie na drugiej grupie uczestników badań – tzw. grupie kontrolnej. Grupa kontrolna otrzyma zamiast waszego medykamentu **placebo**, to znaczy tabletkę bez substancji czynnej. Już teraz możecie się założyć, że grupa kontrolna przeciętnie będzie nawet produktywna, a wszystko dzięki **efektowi placebo**. Jeśli wiem (albo wierzę), że wezmę jakiś medykament i przyniesie mi on konkretny efekt, może nastąpić tzw. *self-fulfilling prophecy* – kiedy czegoś się spodziewam, wydarza się.

Wasz medykament może więc uchodzić za skuteczny dopiero wtedy, kiedy wśród uczestników grupy testowej doprowadzi do znacznie wyższej produktywności niż placebo w grupie kontrolnej. Bez tej kontroli wasze badania z punktu widzenia nauki są bezużyteczne.

Wybrałam jako przykład medykament przeciwko prokrastynacji, ponieważ prawdopodobnie najszybciej przekona on, że efekt placebo odgrywa w badaniach bardzo dużą rolę. Motywacja do bycia produktywnym to w końcu coś, co można sobie wmówić. (Dlaczego „wmówienie sobie" jest procesem z zasady biologicznym, wyjaśnimy w rozdziale 7). Ale efekt placebo odgrywa w medycynie ważną rolę, także w przypadku środków przeciwbólowych, antyalergicznych, leków obniżających ciśnienie krwi i tak dalej. Właściwie stale powinno się nosić ze sobą dawkę tabletek placebo, aby móc je podać przyjaciołom jako środek w razie wszelkich możliwych dolegliwości. Jeśli ktoś się skarży na ból głowy, po prostu należy podać mu placebo ze słowami: „Ach, spójrz! Przypadkowo mam ze sobą tabletki od bólu głowy!". Działa to też w razie innych dolegliwości: „Proszę, akurat mam ze sobą coś na dolegliwości żołądkowe". Albo: „Mam tu roślinny środek uspokajający, zawsze mi pomaga".

Z drugiej strony istnieje jednak efekt **nocebo**, czyli brzydki brat efektu placebo. Oczekiwanie na niechciane działanie uboczne także może bowiem prowadzić do *self-fulfilling prophecy*. Uczestnicy regularnie przerywają badania kliniczne z powodu negatywnych działań ubocznych – nie wiedząc, że znaleźli się w grupie placebo,

nie dostali żadnego skutecznego środka i nie mogą u nich wystąpić żadne objawy uboczne. Można to wytłumaczyć na przykładzie zastrzyku roztworu soli. O ile dla ludzi uczulonych na środki spożywcze taki zastrzyk będzie niegroźny, o tyle zastrzyk placebo bez alergenów u niektórych osób może doprowadzić do prawdziwej reakcji alergicznej.

Pamiętając o efekcie placebo i mając w tyle głowy wiedzę na temat nocebo, sensownie jest nie tylko podzielić uczestników badań na grupy testowe i kontrolne, ale także dopilnować, aby nie wiedzieli, w jakiej grupie się znaleźli. I jeszcze jedno: sami naukowcy przeprowadzający i oceniający te badania nie powinni o tym wiedzieć. Jeśli mają przed sobą dane pacjenta, nie powinni mieć świadomości, czy ów uczestnik otrzymał placebo, czy też dawkę skutecznego środka. Jestem naukowcem, ale też tylko człowiekiem – i moje osobiste oczekiwania mogłyby wpłynąć na ocenę eksperymentu i osłabić rzeczowość, świadomie czy też podświadomie. Nie ufamy samym sobie i dobrze, że tak jest. Metodę tę nazywamy zatajeniem, a badanie, w którym zarówno uczestnicy, jak i naukowcy są utrzymywani w nieświadomości, to **podwójnie ślepa próba**. Dopiero kiedy uzyskane dane są już ocenione, zatajenie można znieść.

„Kontrolowane", a najlepiej „podwójnie ślepe" to kryterium jakościowe badań klinicznych. Przejdźmy do określenia „randomizowane". Kiedy na którymś filmie wideo wspomniałam o randomizowanych badaniach kontrolnych, niektórzy uznali to za kiepską próbę znalezienia niemieckiego tłumaczenia terminu „random", który oznacza „przypadkowe". Ale nie ma tu nic z przypadkowości. Randomizować to raczej świadomie wymusić przypadek. Co mam na myśli?

Wróćmy do naszego medykamentu przeciwko prokrastynacji. Jeśli chcemy sprawdzić, czy on rzeczywiście działa, oczywiście życzymy sobie, aby tak było. W ten sposób powstaje niebezpieczeństwo, że świadomie lub nie dzielimy uczestników naszych badań na grupę kontrolną i testową, co jest dla nas korzystne. Uczestników, którzy od samego początku są bardziej produktywni, mogłabym włączyć do mojej grupy testowej, a tych mniej produktywnych – do grupy

placebo. W efekcie wynik były zafałszowany. Aby do czegoś podobnego nie doszło, uczestnicy eksperymentu są randomizowani, a więc – dzięki programowi komputerowemu – przydzielani na zasadzie przypadku do jednej z grup, abym ja, jako naukowiec, nie miała na to żadnego wypływu.

Mam nadzieję, że teraz rozumiecie, dlaczego randomizowane badania kontrolowane są złotym standardem badań klinicznych. Zwłaszcza współzależności medyczne są tak wielowarstwowe, że pomimo najlepszych metod nie dają nam prostej odpowiedzi (przypomnijmy sobie rozdział 4). Nawet w czasie prowadzenia najlepszych randomizowanych badań kontrolowanych zdarza się, że wynik nie jest powtarzalny.

W psychologii problem ten jest szczególnie poważny. I niekoniecznie dlatego, że psycholodzy wykonują swoją pracę źle – po prostu metody psychologiczne nie są tak niezbite jak RCTs. Badania psychologiczne często bazują na przykład na ankietach, czyli na osobistych wypowiedziach uczestników badań. A jak dalece można im zaufać? Nie ma jednak lepszej metody, aby ustalić, jak ktoś się czuje. Do szczegółowej rozmowy z ekspertem także mogą się wkraść błędy, ponieważ jakościowa ocena badacza nie jest tożsama z pomiarem fizycznym, w wyniku którego otrzymujemy jakąś wartość liczbową. To oczywiste, że powtarzalność takich eksperymentów na tym cierpi. Do tego dochodzi fakt, że sugestywność danej wypowiedzi jest tym większa, im większa jest liczba uczestników ankiety. Dobrze przeprowadzone badanie powinno być dokonane na jak największej liczbie uczestników. Trzeba więc znaleźć metody, które będzie można realnie zastosować w dużej skali – i które okażą się powtarzalne. W taki sposób naukowcy mogą pracować poprawnie, ale mimo to zdarzają się błędy wynikające z sedna samej metody. Dlatego mogę jedynie powtarzać: zwracajcie uwagę na metody, jeśli zajmujecie się wynikami badań naukowych. Ciągle pytajcie: jak uzyskano ten wynik? Bo już same wyniki mogą wprowadzić w błąd. Nie chcę przez to powiedzieć, że każde badanie psychologiczne to bzdura. Mimo wszystko można się cieszyć z wniosków typu: „środek do czyszczenia o cytrynowym zapachu sprawia, że stajemy się grzeczni i pełni energii” – o ile zachowamy

sporą dozę krytycyzmu. Odpowiednia reakcja byłaby następująca: „Ach, to trochę dziwne, ale interesujące!”, a nie: „Natychmiast muszę tym spryskać pokój moich dzieci!”.

Niestety wielu ludzi błędnie pojmuje naukę i natychmiast przenosi wyniki badań naukowych na grunt praktyczny. Do pomysłu: „Porządek każe nam się zachowywać zgodnie z zasadami moralności” w prewencji kryminalnej znakomicie pasuje tzw. **teoria rozbitych okien**. Zgodnie z nią drobne wykroczenia – jak wyrzucanie śmieci na ulicę, malowanie graffiti na ścianach albo właśnie wybijanie okien – powinny być surowo zabronione, ponieważ są zarodkiem poważnych przestępstw. Zgodnie z powyższym należy takie występki bardzo ostro zwalczać i surowo karać, ponieważ porządek i zamiłowanie do niego zapobiegają przestępczości. Takie postępowanie było i jest bardzo sporne, bo kary są niewspółmiernie wysokie i nie udowodniono ich spodziewanej skuteczności. Niektórzy mimo wszystko powołują się na wymienione powyżej badania naukowe w tym zakresie. I znowu jest to dobry przykład na to, że wyniki badań naukowych często są jedynie dobrze uzasadnionymi przypuszczeniami – i dlatego nie nadają się do bezpośredniego zastosowania w praktyce.

Kathleen Vohs i jej koledzy zadali sobie następujące pytanie: jeśli człowiek tak bardzo potrzebuje porządku, dlaczego co rusz pojawia się chaos? A może potrzebujemy chaosu tak samo jak porządku?

Vohs ponownie użyła dwóch pomieszczeń – jednego uporządkowanego, a drugiego nie, aby sprawdzić przypuszczenie, które wprawdzie jest szeroko znane, ale dotychczas było niezbyt dobrze udowodnione naukowo. Przypuszczenie owo brzmi: chaos czyni człowieka kreatywnym.

Kreatywne zadanie dla was: wyobraźcie sobie, że prowadzicie fabrykę produkującą piłeczki do tenisa stołowego. Któregoś dnia pojawia się problem: ludzie coraz rzadziej grają w tenisa stołowego. Ta tendencja narasta. Aby firma nie zbankrutowała, musicie wymyślić nowe zastosowania piłeczek. Ile takich pomysłów przychodzi wam do głowy? Spokojnie, bądźcie innowacyjni – zwariowane pomysły są mile widziane, nawet jeśli wdrożenie ich w życie mogłoby się okazać trudne.

Dokładnie takie zadanie wyznaczyła Vohs obu grupom uczestników eksperymentu. Ci w nieuporządkowanym pomieszczeniu mieli bardziej kreatywne i niekonwencjonalne pomysły dotyczące wykorzystania piłeczek – sugerowali na przykład użycie ich jako formy do kostek lodu albo do budowania modelu molekuł. Sedno zdolności ludzi kreatywnych to niekonwencjonalne myślenie, dostrzeganie rzeczy w niezwykłym kontekście, łączenie spraw niemających ze sobą nic wspólnego. I nieporządek, jak się wydaje, nam w tym pomaga.

W trakcie kolejnego eksperymentu Vohs zaoferowała badanym będącym w dwóch różnych pomieszczeniach soki owocowe, zachwalane albo jako „klasyczne", albo jako „nowe". Uczestnicy w uporządkowanym pomieszczeniu woleli napój „klasyczny", zaś ci w nieuporządkowanym preferowali „nowy" sok. Chaos zachęca więc do odważenia się na coś nieznanego, niekonwencjonalnego, nowego. I tak Vohs odkryła niejako dobrą stronę chaosu. Bo bez kreatywnego i innowacyjnego myślenia, bez odważenia się na coś nowego nie byłoby ani sztuki, ani postępu w nauce.

Mimo wszystkiego, co powiedziałam na temat krytycznego stosunku do tematu badań psychologicznych, muszę przyznać, że aż nadto chętnie powołuję się na wynik badań Vohs, zwłaszcza kiedy niespodziewany gość, chcąc nie chcąc, jest skazany na konfrontację z moim chaosem.

Jako chemiczka lubię też patrzeć na chaos od strony termodynamicznej. **Termodynamika** jest cudownym działem nauki, w którym zbiegają się chemia i fizyka. Zasady termodynamiki są trochę jak prawa rządzące ludźmi, tyle że dotyczą molekuł. Owe zasady nie robią różnicy między poszczególnymi cząsteczkami. Bez względu na to, czy jesteście molekułą tlenu, czy atomem złota, zasady termodynamiki dotyczą was wszystkich: wszystkich żyjących istot, obiektów, wszystkich molekuł, atomów, wszystkich procesów fizycznych i chemicznych. Termodynamika (wespół z mechaniką kwantową) to fundamentalne naukowe zrozumienie tego świata i szerzej – wszechświata. A mówi nam ona: **wszechświat nie tylko chciałby być chaotyczny, on musi też być chaotyczny**! W innym razie mogłabym – ni stąd, ni zowąd – udusić się w czasie pisania tego zdania, ponieważ wszystkie molekuły powietrza w moim pokoju nagle zgromadzą się w jednym kącie, a ja zostanę z niczym. Można by stwierdzić, że to absurdalny pomysł – ale czy rzeczywiście?

Powietrze, które nas otacza, składa się w 78% z azotu, w 21% z tlenu, a pozostały procent to gazy szlachetne oraz dwutlenek węgla. Owe molekuły gazu zajmują razem mniej niż 0,1% objętości, czyli pomieszczenia. Reszta to po prostu nic!

Ale na razie obejrzyjcie sobie opuszek waszego małego palca u ręki. U niektórych będzie on większy, u niektórych mniejszy, ale jego czubek ma objętość mniej więcej jednego centymetra sześciennego. W powietrzu o objętości jednego centymetra sześciennego znajduje się około 26 trylionów cząsteczek gazu. To liczba o dwudziestu miejscach przed przecinkiem.

Owe molekuły powietrza oczywiście także mają swoją masę. Jedna pojedyncza molekuła nie waży wiele, ale sumując, w jednym metrze sześciennym mamy ich około 1,2 kilograma. Nazywamy to **gęstością powietrza.** Molekuły te mają nie tylko masę – ów niewiarygodny rój w dodatku się porusza! To, jak szybko poruszają się molekuły, zależy od temperatury. Przywołajmy w tym miejscu naszą filiżankę kawy z rozdziału 1 – im cieplej, tym szybciej. W temperaturze pokojowej molekuły gazu śmigają nam koło uszu

z prędkością ponad 1000 km/h. Nieźle, jak na takie małe molekuły, co? Można też powiedzieć, że powodują ciśnienie, i to spore. Ciśnienie to siła wywierana na powierzchnię. W efekcie ciągłego nacisku molekuł na nas oraz na każdą inną powierzchnię powstaje **ciśnienie atmosferyczne**. Wynosi ono około 1 bara, co odpowiada masie 10 000 kg działającej na powierzchnię 1m2.

Załóżmy, że powierzchnia ponad moją głową wynosi 0,1 m2. Ciśnienie atmosferyczne ciąży na mnie z siłą około 1000 kg, czyli jednej tony – to niemal tyle, ile waży volkswagen polo. Na was oczywiście także spoczywa ten ciężar – wszyscy jesteśmy bez przerwy bombardowani molekułami powietrza. Jak to wytrzymujemy? I dlaczego nie czujemy tak potężnego ciśnienia?

Sami też składamy się z molekuł. A one również wywierają nacisk na zewnątrz – dokładnie taki sam jak ciśnienie atmosferyczne. Jeśli zmieni się ciśnienie na zewnątrz, z reguły natychmiast odczujemy to dzięki naszej błonie bębenkowej. Nie dostrzegamy owej cienkiej membrany w naszym uchu tak długo, jak długo ciśnienie po obu jej stronach jest takie samo. Jeśli tylko ciśnienie na zewnątrz się zmieni,

na przykład gdy samolot, w którym siedzimy, ląduje albo wznosi się, mówimy, że „zatkały się nam uszy". Jeśli ciśnienie na zewnątrz rośnie, molekuły powietrza z zewnątrz uderzają o ucho i wciskają błonę bębenkową do środka; jeśli ciśnienie na zewnątrz spada, molekuły powietrza z wewnątrz bębnią o ucho i wyciskają błonę bębenkową na zewnątrz. W efekcie powstaje owo uczucie „zatykających się uszu". A ponieważ błona bębenkowa może się poruszać tylko w niewielkim stopniu, słyszymy gorzej. Ucho ma jednak coś w rodzaju wentyla, tzw. trąbkę Eustachiusza, zwaną czasem zabawnie trąbką słuchową. Jest to rodzaj połączenia między uchem i nosogardzielą, które z reguły jest zamknięte, ale w efekcie żucia lub ziewania może na chwilę się otworzyć. Dzięki temu dochodzi do wyrównania ciśnienia.

W samolocie odczuwamy różnicę ciśnienia, ponieważ ciśnienie atmosferyczne spada, im wyżej wznosi się samolot. A co będzie, jeśli człowiek wzniesie się jeszcze wyżej – w kosmos?

Nasza gęsta atmosfera pełna dzikich molekuł powietrza to rarytas we wszechświecie. W jego bezmiarach panuje próżnia. Próżnia oznacza pustą przestań, brak jakichkolwiek molekuł, po prostu nicość. Co by się stało, gdyby wyrzucić człowieka bez skafandra ochronnego w próżnię wszechświata? Uwaga, spojler: człowiek poniósłby śmierć natychmiast. Ale my chcemy wiedzieć więcej: jak dokładnie i w wyniku czego?

Interpretacja takiego scenariusza pojawiła się już w wielu filmach z gatunku science fiction. W *Gwiezdnych wojnach – epizod VIII* Leia zostaje wyrzucona w kosmos; z początku wydaje się, że jej ciało zamarzło, bo skóra wygląda tak, jakby pokryła się małymi kryształkami lodu. Scena ta spotkała się z nieprzychylnymi komentarzami fanów filmu, którzy orzekli, że jest nierealna. Leia mianowicie przeżyła, bo dzięki akcji ratunkowej Mocy dostała się do wnętrza statku kosmicznego. Ja uważam tę scenę za nierealną przede wszystkim dlatego, że w kosmosie wcale tak szybko się nie zamarza, pomimo że jest tam niewiarygodnie zimno. Mówiąc „niewiarygodnie", mam na myśli to, że zbliżamy się tam do **absolutnego punktu zero**, a więc do najniższej możliwej temperatury.

Jeśli temperatura nie jest niczym innym, jak tylko ruchem cząsteczek (odwołujemy się do rozdziału 1), określenie: „najzimniej, jak to możliwe” znaczy tyle samo co: „tak powoli, jak to możliwe”. Absolutny punkt zera, 0 K albo inaczej −273,15 °C, można sobie wyobrazić jako punkt absolutnego bezruchu.

PRÓŻNIA

Zimniej niż w bezruchu – takiego stanu nie można osiągnąć, dlatego jeśli chodzi o temperaturę, fizyczna granica spada w dół. **Trzecia zasada termodynamiki** mówi, że w praktyce niemożliwe jest osiągnięcie absolutnego punktu zero, a jednak w próżni kosmosu stan ten jest niemal osiągnięty, panuje tam bowiem temperatura 2,7 K względnie 270,45 °C. Jak więc można tam nie zamarznąć?

Tutaj warto wrócić do naszej kawy z rozdziału 1. Chłodzenie następuje przede wszystkim poprzez przewodzenie ciepła, a w tym

celu molekuły muszą o siebie uderzać. Im więcej materii jest w ciągłym kontakcie, a więc im częściej cząsteczki mogą o siebie uderzać, tym lepiej funkcjonuje przewodzenie ciepła. Dlatego jeśli chcemy na przykład chłodzić napoje, wiadro pełne lodowatej wody jest bardziej wydajne niż wiadro pełne kostek lodu. (To taka mała wskazówka na marginesie, jeśli ktoś was spontanicznie odwiedzi i będziecie chcieli jak najszybciej schłodzić napoje). A to dlatego, że pomiędzy kostkami lodu jest powietrze, które – w porównaniu z wodą – składa się z mniejszej liczby cząsteczek, czego efektem jest mniejsza liczba uderzeń cząsteczek o siebie. Najwolniej chłodzą się butelki umieszczone w lodówce, bo powietrze jest kiepskim przewodnikiem ciepła.

Jeszcze gorszym przewodnikiem ciepła jest próżnia w kosmosie – tu przecież nie ma żadnej materii. Dlatego nie ma też molekuł, którym mogłabym przekazać ciepło swojego ciała. Schładzalibyśmy się jedynie w efekcie oddawania ciepła, ale to następowałoby bardzo powoli. A to znaczy, że mimo temperatur w pobliżu absolutnego punktu zero w kosmosie nie zamarzlibyśmy tak szybko.

Ale może eksplodowalibyśmy w myśl zasady: jeśli będzie występować zewnętrzne ciśnienie powietrza i nic nie będzie mogło się przeciwstawić wewnętrznemu ciśnieniu ciała, pękniemy. Filmy na YouTube pokazują, jak pianki w czekoladzie stawiane są pod próżniociągi, z których powoli usuwane jest powietrze. Warstwa czekolady pęka, a białe wypełnienie rozpryskuje się we wszystkich kierunkach. Na szczęście nie jesteśmy piankami w czekoladzie. Nasza skóra i tkanka są na tyle solidne, że utrzymają nas w całości, także w próżni.

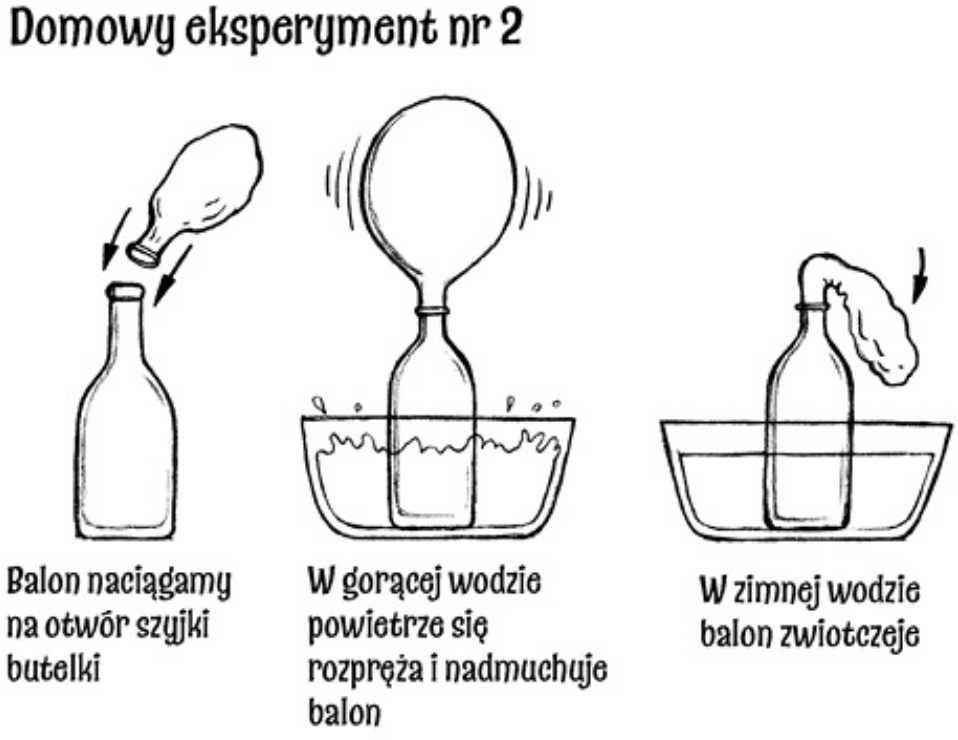
Jest jednak coś mniej dramatycznego niż eksplozja, za to bardzo nieprzyjemnego. Już na odpowiedniej wysokości naszej atmosfery, od około 18 do 19 km n.p.m., nasze ciało… zacznie się pienić. Fachowy termin to „ebulizm” (z łaciny *ebullire* – wytryskiwać). Brzmi zabawnie, ale symptomy wcale nie są śmieszne: ślina w ustach i łzy w oczach zaczną wrzeć, oddychanie staje się utrudnione, układ krążenia cierpi, mózg nie otrzymuje odpowiedniej dawki tlenu, ponieważ zablokowane są arterie, a obrzęk płuc powoduje krwotoki.

To już lepiej mieć na głowie volkswagena polo pełnego molekuł powietrza.

Ale dlaczego nasze ciało zacznie się pienić? „Pienić się" oznacza tyle co „wrzeć" – ciecz zamienia się w gaz. Aby coś doprowadzić do wrzenia, możemy to podgrzać. Mówiliśmy już o tym w rozdziale 1. Jeśli gotuję wodę, wprawiam jej molekuły w ruch. Dążenie do ruchu stanie się w pewnym momencie tak silne, że molekuły wody nie będą w stanie trzymać się razem – i wyparują. Ale jest jeszcze jedna możliwość doprowadzenia cieczy do wrzenia: możemy zmniejszyć ciśnienie. To, że woda w temperaturze 100 °C zaczyna wrzeć, zachodzi tylko przy odpowiednim ciśnieniu atmosferycznym, które panuje na wysokości poziomu morza. Na wysokości Mount Everestu, wynoszącej 8848 m n.p.m., woda wrze z powodu mniejszego ciśnienia atmosferycznego już w temperaturze 70 °C. Bo woda jest cieczą z jednej strony dlatego, że jej molekuły trzymają się razem, a z drugiej – ponieważ oddziałuje na nie ciśnienie atmosferyczne. Podobnie jak molekuły powietrza uderzają o nasze ciała, uderzają one o molekuły wody w moim garnku. Jeśli pójdziemy z owym garnkiem na Mount Everest, gdzie powietrze jest o wiele bardziej rozrzedzone, mniej jego molekuł będzie uderzało o wodę. Im niższe ciśnienie atmosferyczne, tym łatwiej molekułom wody opuścić garnek i wyparować. A na wysokości 18–19 km n.p.m. powietrze jest tak bardzo rozrzedzone, że wyparuje woda w temperaturze ciała. W kosmosie, gdzie ciśnienie atmosferyczne jest praktycznie równe zeru, z wyparowaniem nie będzie już żadnego problemu.

Poza tym powietrze w naszych płucach uległoby znacznemu rozprężeniu. Na objętość gazu można wpłynąć w dwojaki sposób – podobnie jak na stan skupienia. **Z jednej strony można to zrobić poprzez temperaturę: im niższa, tym mniej miejsca zajmuje gaz; im wyższa, tym więcej miejsca zajmuje gaz.** Aby to zrozumieć, wystarczy wziąć butelkę i zastąpić korek czy też zakrętkę balonikiem. Jeśli powietrze nie będzie mogło uchodzić z butelki, zaobserwujemy, że po jej podgrzaniu, na przykład w gorącej wodzie, balon się nadmucha. Jeśli zaś schłodzimy butelkę w zimnej wodzie, balon zwiotczeje.

Z drugiej strony mogę wpłynąć na objętość gazu poprzez zwiększanie lub zmniejszanie ciśnienia: jeśli nadmucham balon, molekuły powietrza w jego wnętrzu zaczną uderzać o jego ścianki. Wielkość balonu nie zależy tylko od tego, ile powietrza weń wdmuchnę, lecz także od ciśnienia atmosferycznego, które oddziałuje z zewnątrz jako siła przeciwstawna. Jeśli więc zmniejszę ciśnienie działające na balon z zewnątrz, wielkość balonu będzie rosła. A więc balon, w którego wnętrzu znajduje się niemal tylko gaz, rzeczywiście eksplodowałby w kosmosie.


Domowy eksperyment nr 2
Balon naciągamy na otwór szyjki butelki
W gorącej wodzie powietrze się rozpręża i nadmuchuje balon
W zimnej wodzie balon zwiotczeje

Gdybym przez jakieś niedopatrzenie została wyrzucona w kosmos, prawdopodobnie instynktownie wstrzymałabym powietrze, które wówczas szybko rozprężyłoby się i rozsadziło moje płuca. A więc lepiej byłoby je natychmiast wydmuchnąć – ale to wszystko jedno, bo tam i tak nikt by nie przeżył. W latach 60. astronaucie Jimowi LeBlanc udało się ujść z życiem, kiedy w czasie ćwiczenia w komorze próżniowej rozszczelnił się jego skafander. Ostatnie, co zapamiętał, zanim stracił przytomność, to łaskotanie w ustach, spowodowane wrzącą śliną. Na szczęście astronautę w porę wyciągnięto z komory i nie doznał poważnych uszczerbków na zdrowiu.

Jak już ustaliliśmy, wszystko zaczęłoby wrzeć i się rozpryskiwać, ale prawdopodobnie umarlibyśmy przede wszystkim z powodu braku tlenu, co – musicie przyznać – nie jest zbyt spektakularne. Na szczęście nasz mózg po kilku sekundach braku tlenu doprowadziłby nas do utraty przytomności, abyśmy nie byli świadomi tego, w jak nędznym położeniu się znaleźliśmy. Dlatego zgadzam się z krytykami *Gwiezdnych wojen* – to, że Leia w przestrzeni pozbawionej powietrza mogła użyć siły wymagającej ogromnej koncentracji, jest rzeczywiście nieprawdopodobne.

Rodzi się też pytanie, co stałoby się z ciałem po śmierci w przestrzeni kosmicznej. Odpowiedź jest krótka: niewiele. Procesy rozkładu, które normalnie zachodzą po ustaniu każdego ziemskiego życia, to reakcje chemiczne z tlenem i wodą, które potrzebują trochę ciepła, a częściowo również pomocy mikroorganizmów. Wszystkiego tego nie ma we wszechświecie, więc umarły człowiek zostałby tam znakomicie zakonserwowany. Zawsze coś.

Wróćmy jednak na Ziemię, zanim zrobi się zbyt makabrycznie. Kiedy siedzę przy biurku i przesyłam na serwer kolejny filmik, wokół mnie na szczęście przemyka odpowiednio dużo molekuł powietrza. Wprawdzie nie mogą one się wydostać na zewnątrz, kiedy drzwi i okna są pozamykane, ale w biurze poruszają się swobodnie. Nikt nie nakazuje molekułom powietrza kierunku, w jakim mają się poruszać. Teoretycznie jest więc możliwe, że w pewnej chwili całkiem przypadkowo wszystkie przeprowadzą się do jednego kąta i ja, siedząc przy biurku, pozostanę bez powietrza, w efekcie czego umrę tu – na ziemi – taką śmiercią, jaka jest możliwa we wszechświecie. Owszem, jest to możliwe, ale bardzo, bardzo mało prawdopodobne. Dlatego w chemii fizycznej rzadko kiedy używa się słów: „możliwe” i „niemożliwe”, lecz mówi się o **prawdopodobieństwach.** Nawiasem mówiąc, po tym rozpoznaje się chemików fizycznych. Oni nie mówią: „Nigdy nie mógłbym pobiec w maratonie”, lecz: „Jest całkowicie nieprawdopodobne, abym dał radę pobiec w maratonie”.

Za owym nieprawdopodobieństwem kryje się znana nam już **druga zasada termodynamiki.** W rozdziale 1 padło zdanie: „Zamknij drzwi, ciepło ucieka!”. Ciepło zawsze ucieka w stronę zimna, nigdy odwrotnie. Ale można by to wyrazić bardziej ogólnie: nieporządek sam nigdy nie zniknie. Dotyczy to zarówno całego wszechświata, jak i mojego biurka. Samo z siebie moje biurko nigdy nie będzie bardziej uporządkowane, ale jedynie bardziej pełne chaosu. Każdy samorzutnie przebiegający proces we wszechświecie – czy to fizyczny, chemiczny, czy biologiczny – prowadzi do większego nieporządku, niż panował poprzednio, chyba że poświęca się sporo pracy i energii, aby ten proces odwrócić lub zatrzymać (chyba że posprzątam swoje biurko). Istnieje nawet fachowy termin oznaczający nieporządek: **entropia**. Entropia we wszechświecie stale rośnie.

Ale jakie to wszystko ma znaczenie, jeśli chodzi o moje przeżycie przy biurku? Jeżeli wszystkie molekuły gazu w moim pokoju mogą się poruszać swobodnie, niezależnie jedna od drugiej i chaotycznie latać wokół, to logiczny jest wniosek, że rozkładają się dość równomiernie w całym pomieszczeniu. Jeśli ktoś chciałby zgromadzić molekuły w jednym kącie pokoju, należałoby ograniczyć ich swobodny ruch i zaprowadzić jakiś porządek w systemie. To jednak przeczy prawu wszechświata – i dlatego jest niemożliwe. Ach, chciałam oczywiście powiedzieć: nieprawdopodobne.

Druga zasada termodynamiki odpowiada też za to, że wszystko w tym pomieszczeniu ma temperaturę pokojową (z wyjątkiem mojego ciała, które wykonuje odpowiednią pracę, aby zachować swoje 37 °C). Jeśli przyniosę tu gorącą kawę, byłoby wbrew zasadzie nieporządku, gdyby ruch cząsteczek kawy nie następował dalej w całym pomieszczeniu. Chaos ostatecznie prowadzi do możliwie równomiernego rozprzestrzeniania się. Gdybym chciała, aby wśród moich ubrań panował możliwie największy chaos, nie układałabym ich w szafie według kolorów, lecz po prostu rozrzuciłabym je po całym pokoju – efektem końcowym byłoby ich równomiernie rozłożenie.

Biorę więc głęboki haust molekuł powietrza i w napięciu patrzę na mój monitor, bo nie działa przesył danych na serwer. Pełna złych przeczuć biegnę do salonu i z przerażeniem patrzę na wygaszone kontrolki routera.

ROZDZIAŁ 6

CO MI TO DA?

Kilka tygodni temu czekałam na pociąg ICE w bardzo złym humorze. Poszłam do baru bistro po belgijskiego gofra z wiśniami i lodami waniliowymi, którego zamierzałam zjeść w trakcie podróży. W pewnej chwili przysiadło się do mnie dwóch mężczyzn w garniturach.

– To wszystko dobrze wygląda! – powiedział starszy z nich, który mógłby być moim ojcem. Po krótkiej przerwie, przechylając się w moją stronę, dodał: – Gofr też wygląda nieźle, ha, ha, ha!

Jego młodszy kolega zawtórował mu, śmiejąc się z wyraźnym zakłopotaniem.

Istnieje świetna metoda, aby wyrazić cichą, lecz jednocześnie wyniosłą pogardę – tzw. *slow-blink*. Twarz musi być pozbawiona wszelkiego wyrazu, należy jedynie unieść brwi i utrzymując kontakt wzrokowy, patrzeć nieruchomo na delikwenta przez jedną długą

sekundę. Podniosłam więc wzrok znad swojego gofra i uniosłam brwi. Najpierw popatrzyłam prosto w twarz młodszego kolegi, na której z satysfakcją zauważyłam zakłopotanie, a potem zwróciłam spojrzenie w stronę starszego pana. Mój milczący kontakt wzrokowy najwyraźniej go irytował. Następnie ja oraz mój dobrze wyglądający belgijski gofr wstaliśmy i bez słowa zostawiliśmy obu idiotów w bistro.

Dawniej w podobnej sytuacji roześmiałabym się nerwowo albo zareagowała obraźliwie i głośno. Od kiedy jednak kręcę filmy na YouTube i w każdym tygodniu otrzymuję tysiące komentarzy, stosuję metodę konfiguracji gazu szlachetnego. Pozwólcie mi to wyjaśnić, być może i wam ona pomoże.

Gazy szlachetne, które znajdziecie w ósmej grupie głównej układu okresowego pierwiastków, są znakomitym wzorem na rozładowanie napięcia między ludźmi. Najbardziej znane gazy szlachetne to dwa znajdujące się w pierwszej grupie: hel (He), znany nam z baloników, oraz neon (Ne), znany z neonów ulicznych. Jeśli patrzeć po kolei w dół, zobaczymy argon (Ar), krypton (Kr), ksenon (Xe), radon (Rn) oraz oganesson (Og). Pamiętacie jeszcze rozdział 2? Pierwiastki w systemie okresowym uporządkowane są zgodnie z liczbą porządkową, czyli liczbą protonów w jądrze. W jednej grupie układu okresowego coraz cięższe pierwiastki znajdują się coraz niżej. Ich ciężkie jądra są często radioaktywne, nie są stabilne i ulegają rozpadowi. Należące do grupy gazów szlachetnych radon i oganesson są radioaktywne, dlatego je pominiemy, bo gazy szlachetne odznaczają się godną uwagi stabilnością. Są niesłychanie mało reaktywne – same sobie wydają się zbyt wartościowe, by stworzyć z kimkolwiek jakiś związek. W uproszczeniu powiedzielibyśmy, że im się nie chce. I właśnie to czyni je szlachetnymi.

Jeśli wrócimy do fluoru z rozdziału 2, który sens swojego agresywnego, krótkotrwałego życia widzi właśnie w znalezieniu odpowiedniego partnera, uznamy, że gazy szlachetne w ogóle tego nie potrzebują. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest fakt, że gazy szlachetne mają osiem zewnętrznych elektronów – przypominamy tu regułę oktetu. Podczas gdy fluor odnajduje swój spokój dopiero

wespół z węglem, jako teflon, albo razem z sodem, jako pasta do zębów, gazy szlachetne nawet o tym nie myślą. I kiedy pozostałe pierwiastki głównych grup wchodzą w związki, aby mieć osiem zewnętrznych elektronów, gaz szlachetny ma wszystko, czego może zapragnąć. Dlatego reguła oktetu czasami zwana jest **regułą gazu szlachetnego**, a wypełnioną powłokę zewnętrzną zwie się **konfiguracją gazów szlachetnych**. Ja nazywam zrelaksowany, wzniosły nastrój umysłu właśnie konfiguracją gazów szlachetnych. To piękna mantra dla tych, którzy w kółko złoszczą się z powodu jakichś głupich drobiazgów, które kompletnie nie mają znaczenia. Bądź jak szlachetny gaz, myślę w takiej chwili.

Gazy szlachetne są tak zadowolone z siebie, że nie tworzą związków nawet między ze sobą. Porównajmy dla przykładu inne gazy, jak azot albo tlen: zbudowane są one z **cząsteczek dwuatomowych**. Jedna cząsteczka azotu składa się z dwóch atomów azotu – N_2, a molekuła tlenu z dwóch atomów tlenu – O_2. To samo dotyczy wodoru – H_2. Za to gazy szlachetne są tak zadowolone z siebie, że występują samodzielnie, w postaci **jednoatomowej**.

Patrząc na to od strony chemicznej, można by pomyśleć, że gazy szlachetne nie są zbyt interesujące, bo nigdy nic się z nimi nie dzieje. Ale jest wręcz przeciwnie! Argon, obok azotu, stosowany jest w laboratorium jako tzw. gaz osłonowy. Wyobraźcie sobie, że chcecie przeprowadzić jakąś reakcję chemiczną, ale materiały, z którymi pracujecie, są tak wrażliwe na powietrze, że natychmiast zareagowałyby z tlenem i wszystko wzięłoby w łeb. Inne materiały są znów bardzo wrażliwe na wodę i wystarczy zwykła wilgotność powietrza w pomieszczeniu, aby je zniszczyć. Chociaż „zniszczyć" to może nie najlepsze określenie – materiał, który jest tak bardzo wrażliwy na tlen, właśnie ów tlen kocha. Nie ma dla niego nic milszego niż natychmiastowa reakcja z tlenem. Ale chemicy są w stanie zmusić go do tego czy owego, inaczej mówiąc, zestawiają ze sobą materiały, które nie tak łatwo godzą się na wzajemne towarzystwo. Na przykład usuwają znajdujące się w kolbie powietrze i całą aparaturę poddają działaniu argonu. Niechętny do wchodzenia w reakcje argon wypiera powietrze i wówczas można spokojnie

przeprowadzić doświadczenie, bez zetknięcia się z tlenem czy też z wilgocią pochodzącą z powietrza.

Gdyby gazy szlachetne nie były tak mało reaktywne, niezłym pomysłem byłoby wdychanie helu w celu uzyskania zabawnego, niezwykle cienkiego głosu. Ale czystym helem należy się rozkoszować z dużą ostrożnością (wrócimy do tego w rozdziale 10).

Gazy szlachetne po prostu robią swoje, dlatego nie ulegają żadnym wpływom. To bardzo inspirujące, kiedy na przykład ma się do czynienia z dwoma obleśnymi facetami w bistro. Dzięki konfiguracji gazów szlachetnych w ogóle nie ma konieczności reagowania na coś takiego. I tak mój belgijski gofr i ja z wyniosłą miną – po prostu oddaliliśmy się jak monomeryczna molekuła argonu.

Gdy wsiadłam do pociągu, nie dane mi było jednak osiągnąć spokoju, bo stwierdziłam, że WLAN nie działa. I dopiero wtedy całkiem straciłam humor, bo miałam cholernie dużo pracy. Naprzeciwko mnie siedział kolejny starszy pan – tym razem bardziej sympatyczny – i uśmiechał się przebiegle.

– Ach, dziś już nie wiadomo, co począć bez dostępu do internetu, prawda? – zagadnął, po czym zaoferował mi swoją gazetę.

Zrezygnowałam z wyjaśniania mu, jakie znaczenie ma dziś internet.

Teraz jednak wychylam się przez poręcz mojego balkonu, aby złapać zasięg w telefonie. Cały mój dom jest odcięty od świata, z wyjątkiem tego jednego miejsca na balkonie. Łapię wystarczający zasięg, aby zadzwonić do Christine.

– Mogę wpaść na chwilę? – pytam. – Nie mam dostępu do sieci, a muszę wysłać film na serwer.

– Znowu? – Rzeczywiście już drugi raz w tym miesiącu mam kłopot z internetem. Chyba powinnam się ubezpieczyć na taką ewentualność. – Jasne – dodaje Christine – wpadnij. Ja też muszę się oderwać od pracy.

To olbrzymie szczęście, że Christine i ja wylądowałyśmy w tym samym mieście. Poznałyśmy się w czasie pisania pracy doktorskiej

u tego samego promotora i razem walczyłyśmy ze wszystkimi przeciwnościami z tym związanymi. Nawiasem mówiąc, Christine i ja zrobiłyśmy doktoraty bynajmniej nie dlatego, że jesteśmy przebiegłe czy sprytne. Około 85% studentów chemii od razu po zrobieniu magisterium przystępuje do pisania pracy doktorskiej. To należy już niemal do standardowego wykształcenia chemika.

Christine jednak jest bardzo sprytna i mądra, niezależnie od swojego stopnia akademickiego. Po doktoracie zrobiła w USA tzw. postdoc. To coś podobnego do doktoratu, tyle że osoby ze stopniem postdoc mają już stopień doktora, a mimo to dają się dalej wyzyskiwać przez uniwersytet. Gdybym miała opisać akademicką hierarchię, powiedziałabym cynicznie, że na samej górze siedzą profesorowie – zupełnie jak bogowie na szczycie Olimpu – a na samym dole harują doktoranci, czyli tania siła robocza. Zaś tuż przed nimi powoli pną się na szczyt ci z postdoc (studenci nie są warci nawet wzmianki). W karierze akademickiej postdoc to pierwszy stopień do habilitacji albo do zdobycia stopnia adiunkta, ale w przemyśle firmy farmaceutyczne wymagają coraz częściej stopnia postdoc do rozpoczęcia kariery. Absurdalna inflacja kwalifikacji.

Daniel, mój szkolny przyjaciel, który kiedyś był za głupi nawet na to, aby wyprowadzić funkcję wykładniczą, teraz ze stopniem magistra ekonomiki i organizacji przedsiębiorstwa zarabia więcej niż każdy postdoc. Ale nie samo wynagrodzenie odstręcza od rozpoczęcia kariery uniwersyteckiej. Kto chce przeforsować swoje na uniwersytecie, musi poświęcić nauce życie – również życie prywatne, a nawet sen. Nie ma weekendu, w który Christine by nie pracowała. I chociaż mieszkamy w tym samym mieście, widzę ją przeważnie tylko wtedy, kiedy odwiedzam ją w laboratorium. Przy czym praca ta wcale nie daje gwarancji bezpieczeństwa zawodowego. Brnie się do przodu, od jednego kontraktu do drugiego, a wszystkie są zawierane na czas określony. Końcowym – i jedynym – etapem kariery akademickiej jest jedynie dożywotnia profesura. Jeśli ktoś jest wyjątkowo dobry, osiągnie ją pod koniec trzydziestego roku życia. I chociaż tylko tym najlepszym, i bardzo nielicznym, udaje się dotrwać do habilitacji, po prostu nie ma wystarczającej liczby profesur. Ciężka praca, inteligencja i talent nie wystarczą –

potrzebna jest jeszcze wielka porcja szczęścia. Kto nie da rady zdobyć profesury, ten mimo lat pracy nie ma właściwie żadnych kwalifikacji i może się starać o takie samo miejsce pracy w przemyśle jak jego studenci.

Dlaczego więc tak się poświęcamy? Wszystko dla nauki? Badania rzeczywiście wymagają silnego przekonania co do słuszności zasadniczych podstaw nauki. To pragnienie wykonywania zawodu, który ma wartość społeczną. Oklepany slogan: Służyć ludzkości albo uczynić świat trochę lepszym! Ale to, co może być niebezpieczne w tej myśli, unaocznia warta przeczytania pozycja Ranga Yogeshwara pod tytułem: *What's in it for me?* Autor snuje refleksje na temat wartości nauki i przestrzega przed komercjalizacją badań albo – mówiąc prościej – przed tytułowym pytaniem: „Co mi to da?". Oto fragment:

„Kto (…) redukuje do kategorii ekonomicznych naukową ciekawość świata i głęboką potrzebę lepszego zrozumienia tego świata, ten popełnia wielki błąd. Bo nie wszystko, co jest przedmiotem badań naukowych, pasuje do takiego sposobu myślenia. Co na przykład *nam da* specjalny zakres badań o numerze 933, który analizuje i rozwija nowe interpretacje tekstów antycznych i średniowiecznych? Suma przeznaczona na sfinansowanie tego projektu wynosi 11,5 milionów euro. Płatnikiem jest DFG – Niemiecki Instytut Badawczy. Ten sam instytut finansuje z naszych podatków badania starożytnej świątyni egipskiej w Edfu, gdzie tłumaczone są hieroglify znajdujące się w sanktuarium, w sali ofiar i w większej części westybulu. Jaka jest wartość użytkowa takich badań?

Tłumaczenie starożytnych hieroglifów egipskich chyba nie przyczyni się do zwiększenia produktu narodowego brutto ani też do rozkwitu gospodarki. Ale czy nauka mimo wszystko nie jest wspaniała? Przecież to ona próbuje ułożyć puzzle dawnej, wspaniałej kultury i rozwija nasze zrozumienie przeszłości. Także jeżeli chodzi o badanie bozonu Higgsa („boskiej cząstki") bądź dowodzenia istnienia fal grawitacyjnych nie ma ekonomicznego zwrotu z inwestycji. I nawet jeśli przyjrzeć się dokładniej, nie ma co argumentować za tym, że

istnieje jakiś gospodarczy produkt uboczny w tych dyscyplinach. Od wielu dziesięcioleci obserwuję krajobraz nauki, która próbuje legitymizować swoje wewnętrzne motywy, a mianowicie ciekawość i pragnienie poznania, za pomocą utylitarystycznych argumentów (…)”.

Czy to nie czas, aby nauka – z całą świadomością swojej wartości oraz namiętnością – przeciwstawiła się jednowymiarowości perspektyw ekonomicznych? Jeśli badania naukowe mają służyć ludziom, jest to myśl godna pochwały. Ale nasze ludzkie zainteresowania często mają podłoże ekonomiczne i finansowe. A myśl o doraźnych korzyściach zagraża niezależności badań naukowych. Niezależności, która jest tak istotna w naszym społeczeństwie, bo stanowi głos, który musi reprezentować szczere zainteresowania. Tylko wtedy nauka może naprawdę uczynić świat nieco lepszym.

Także naukowcy zadają sobie pytanie: Co mi to da? Ranga obserwuje:

„Na przykład w Google DeepMind w Londynie koszty osobowe 400 pracowników wyniosły w 2016 roku 138 milionów dolarów, przeciętnie na pracownika przypada 345 000 dolarów amerykańskich. Konsekwencja: wybijający się naukowcy opuszczają publiczne instytuty badawcze i uniwersytety, aby udać się do pracy w wielkich, dobrze płacących prywatnych przedsiębiorstwach. Owo: *Co mi to da?* negatywnie wpływa na fachowe kompetencje niezależnych, publicznych instytucji, w których coraz częściej brakuje mądrych głów”.

A jeśli owo: „Co mi to da?” zamieni się we wspomnianych mądrych głowach w: „Nie pozwolę się wyzyskiwać” albo w: „Chciałbym mieć też prywatne życie” lub w: „Mam trochę szacunku dla siebie samego” – nie ma się co dziwić, że coraz więcej dobrych pracowników

odwraca się plecami do nauki czy uniwersytetów i szuka dobrze płatnej pracy w przemyśle.

Christine wyznaczyła sobie dzień swoich 35. urodzin jako ostateczny termin. Jeśli do tego czasu nie będzie miała perspektywy na profesurę, zrezygnuje. Teraz jest najmłodszym profesorem juniorem instytutu badawczego i ma na swoim koncie wiele sukcesów. Ale tylko czas pokaże, czy będzie chciała nadal pracować jako naukowiec. Stopień postdoc zrobiła w Massachusetts Institute of Technology (MIT) w Bostonie, zwanym Harvardem nauk przyrodniczych. W międzyczasie werbowano ją do pracy w różnych miejscach. Zaproszono ją na rozmowy wstępne w przemyśle chemicznym w Niemczech, miała też ofertę od McKinsey. Ale chciała pracować jako naukowiec i w końcu zdecydowała się przyjąć ofertę młodszego profesora, którym jest do dziś. Uważam, że to z jednej strony głupie, a z drugiej – godne podziwu. Głupie, bo Christine jest wyzyskiwana przez system. Godne podziwu, bo tacy ludzie jak ona są potrzebni, aby przewrócić ten system do góry nogami, ponieważ Christine opiera się pokusie zawartej w pytaniu: Co mi to da? Poza tym oczywiście cieszę się, że znów jest w Niemczech, w dodatku blisko mnie.

Christine to mój najskuteczniejszy łącznik ze światem laboratorium i uniwersytetu. Czasami oddaje mi do dyspozycji laboratorium – jako plan filmowy do nagrań. Ma też odpowiednio szybki internet, który już ostatnio ratował mi tyłek. Przegrywam więc mój filmik na pendrive'a i udaję się do instytutu.

Instytut to interdyscyplinarne centrum badawcze. Jego pracownicy powinni przekraczać granice pomiędzy różnymi wydziałami. Christine na przykład ściśle współpracuje z pewnym inżynierem i pewną informatyczką. Dzisiaj trudno zajechać daleko, pracując tylko w jednej dziedzinie. Wielkie problemy współczesnego świata obejmują wiele dziedzin jednocześnie i tylko tak mogą być rozwiązane. Zresztą granice pomiędzy dziedzinami są bardzo płynne. Christine na przykład w swoich badaniach zbliża się bardziej do fizyki niż do niektórych dziedzin chemii. Kiedy pisałyśmy pracę doktorską, obie nasze dziedziny badawcze były tak bardzo od siebie oddalone,

że nie byłyśmy w stanie wymyślić wspólnego projektu, chociaż było to naszym marzeniem.

Mówiąc bardzo ogólnie, chemia dzieli się na trzy główne działy: **chemia nieorganiczna, chemia organiczna i chemia fizyczna.** Oczywiście istnieją jeszcze inne działy, ale te trzy są podstawowe i należy je dokładnie poznać w czasie każdego kursu chemii.

Chemia fizyczna, jak sama nazwa wskazuje, jest połączeniem chemii z fizyką. Mieszczą się w niej termodynamika i mechanika kwantowa, ale też to, co robi Christine, a mianowicie przewidywanie różnych reakcji chemicznych za pomocą symulacji komputerowych.

Chemia organiczna to dziedzina, w której wszystko kręci się wokół jednego pierwiastka: węgla (C) – i wszystkiego, z czym węgiel lubi tworzyć związki: wodoru, (H), tlenu (O), azotu (N) albo fosforu (P). Organika zajmuje się więc „tylko" związkami i reakcjami węgla. „Tylko" jest w cudzysłowie, bo to bardzo rozległa dziedzina wiedzy. Całe życie na ziemi bazuje na węglu. Z węgla jesteśmy zbudowani my, ludzie. Ta książka też. Każdy wzór strukturalny, który w niej widzicie, bazuje na węglu. Można nawet założyć, że pozaziemskie życie – o ile jakieś istnieje – także musi bazować na węglu, bo żaden inny pierwiastek nie jest tak „rozległy".

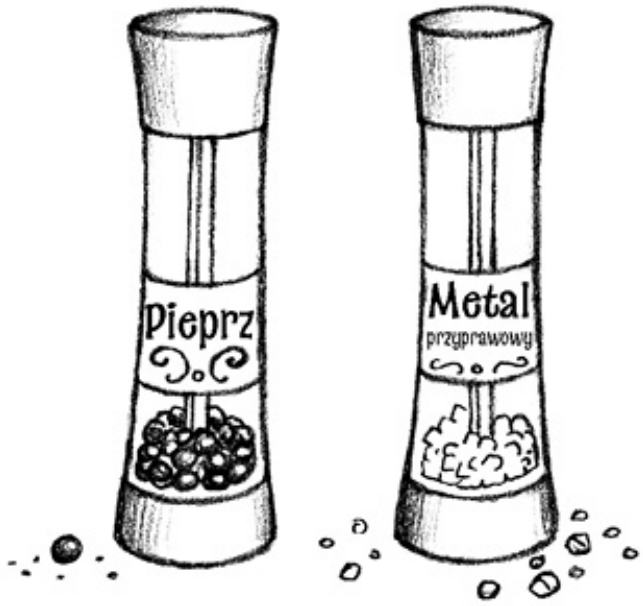
Jeśli czytacie tę książkę na elektronicznym czytniku albo tablecie, w waszym przypadku **chemia nieorganiczna** też odgrywa dużą rolę. Zajmuje się ona wszystkim, co NIE zawiera węgla – stąd jej nazwa. Brzmi bardzo rozlegle, jednak jeśli spojrzy się na układ okresowy pierwiastków, w przyrodzie na pierwszy rzut oka nie ma tego wiele – przede wszystkim sole, minerały i metale. Niektórzy z organików lekceważąco mówią, że nieorganicy zajmują się tylko kamieniami. Ale po pierwsze, kamienie wcale nie są nudne, a po drugie, chemia nieorganiczna może być naprawdę bardziej odlotowa, niż nam się wydaje. Stanowi ona m.in. bazę wszystkich gadżetów technicznych, a smartfon jest jej mistrzowskim dziełem. Przy odrobinie wiedzy można ustalić, co zrobić, by baterie w komórce wytrzymywały dłużej. Już samo to jest warte zainteresowania się chemią, prawda?

Nasz smartfon składa się z siedemdziesięciu różnych pierwiastków. Należy do nich węgiel, ale to przede wszystkim za sprawą metali komórka staje się tak interesująca. Jest to na przykład kilkaset miligramów srebra, a także 30 miligramów złota – jedno i drugie wbudowano w mikroelektronikę. Monitor jest przykryty cienką warstwą sieci z włókien tlenku indowo-cynowego, które rejestrują elektryczne przewodnictwo naszych palców i przenoszą ich dotyk na ekran. Ale to, co powoduje, że nasz smartfon jest rzeczywiście „smart", to szczególna grupa metali szlachetnych, zwanych ziemiami rzadkimi albo metalami ziem rzadkich. W systemie okresowym pierwiastków dostrzeżecie je w bocznych grupach. Należą do nich skand (Sc), itr (Y) i wiele innych pierwiastków, które kryją się pod zbiorowym terminem „lantanowce". Z reguły przedstawione są one wraz z aktynowcami poniżej układu okresowego pierwiastków, ponieważ ten byłby zbyt obszerny.

Ziemie rzadkie wyróżniają się już na pierwszy rzut oka – poprzez dość spektakularne nazwy. Terb (Tb), prazeodym (Pr), itr (Y), gadolin (Gd) albo europ (Eu) odpowiadają za świecące kolory na wyświetlaczu, dzięki czemu mamy piękne zdjęcia na Instagramie. Neodym (Nd) albo dysproz (Dy) sprawiają, że zwykłe magnesy stają się supermagnesami – są wbudowane w głośniki i mikrofony. Te dwie ziemie rzadkie występują poza tym w technice alarmu wibracyjnego.

W lampach energooszczędnych ziemie rzadkie odpowiadają za naturalne światło i są stosowane w zielonych technologiach, takich jak ogniwa słoneczne bądź elektrownie wiatrowe. Te metale szlachetne prezentują swoje działanie już w najmniejszych ilościach, dzięki czemu zyskały ksywkę „metale przyprawowe". (To z pewnością obraza dla sodu, który także jest metalem i jako składnik soli kuchennej prędzej zasłużył na nazwę „metal przyprawowy"!).

Mimo niektórych długofalowych zastosowań pozyskiwanie ziem rzadkich nie jest w żadnym wypadku długofalowe.



Metale te wcale nie są tak rzadkie, jak wynikałoby z ich nazwy. Występują w skorupie ziemskiej nader często, choć są rozmieszczone w dużych odstępach w skałach. Dlatego ich wydobycie jest drogie, a praca przy nim często wiąże się z bardzo niekorzystnymi warunkami. Największe złoża metali ziem rzadkich znajdują się w Chinach – na kilka surowców kraj ten ma quasi-monopol. Im więcej komórek kupujemy, tym droższe stają się metale ziem rzadkich. Mimo to operatorzy telefonii komórkowej kuszą umowami, zgodnie z którymi co roku można wymienić smartfon na nowszy model. Jeśli nasze urządzenia nie będą używane dłużej i rozsądniej utylizowane, wkrótce będziemy mieć duży problem. Większość komórek i tabletów świadomie konstruowanych jest tak, żeby ich naprawa nie była łatwa. Zużyta bateria albo pęknięty ekran skłania wielu ludzi do kupna nowego telefonu. (Oczywiście można by oddać smartfon w celu wymiany tego czy owego, ale kto wytrzyma choćby jeden dzień bez telefonu?). Poza tym fakt, że ekrany komórek tak łatwo się niszczą, wcale nie wynika z ignorancji producentów. W smartfonach mamy do czynienia ze szkłem zwanym gorilla glass. Aby wyprodukować owo szkło, producenci używają **szkła glinokrzemianowego**, składającego się z atomów krzemu, glinu i tlenu, które wespół tworzą trójwymiarowe rusztowanie.

Rusztowanie to jest naładowane ujemnie, co wyrównywane jest przez dodatnio naładowane jony sodu, które znajdują się w otworach rusztowania. Ale to jeszcze nie jest gorilla glass. Aby powstało, należy zanurzyć szkło glinokrzemianowe w roztworze soli zawierającym dodatnio naładowane jony **potasu**.

Potas jest nam znany dzięki solom potasu używanym do produkcji mydła. Jeśli spojrzymy na układ okresowy pierwiastków, zobaczymy, że potas (K) jest bezpośrednio pod sodem (Na). To także tzw. **metal alkaliczny.** Dokładnie tak jak sód, potas jest uprzywilejowany jako tworzący dodatnio naładowane jony (reguła oktetu), jednak jon potasu jest dużo większy od jonu sodu.

Ale jakie to ma znaczenie dla naszego gorilla glass? Jeśli zanurzy się szkło glinokrzemianowe w gorącym roztworze soli potasowych, większe jony potasu wyprą jony sodu z krzemowego rusztowania i zajmą ich miejsce. Wysoka temperatura i ogólnie większy ruch cząsteczek ułatwiają ową wymianę. Jeśli całość ponownie schłodzimy, otrzymamy szkło z lekko zmienioną strukturą chemiczną. W owej strukturze troszkę zbyt grube jony potasu siedzą w nieco za małych otworkach rusztowania. Dzięki temu występuje silniejsza kompresja i otrzymujemy bardziej odporny na uderzenia materiał: gorilla glass.

Dlaczego więc mimo to wyświetlacze naszych komórek tak łatwo ulegają zniszczeniu? Zwykłe szkło jeszcze częściej ulegałoby uszkodzeniu. To, czy wyświetlacz komórki przeżyje jej upadek, zależy oczywiście od tego, jak silny będzie to wstrząs. Jeśli komórka upadnie płasko, istnieją spore szanse, że straty nie będą duże, bo uderzenie przenoszone jest na większą powierzchnię i tak też rozkłada się jego siła. Z rozdziału 5 dowiedzieliśmy się, że ciśnienie to siła działająca na powierzchnię, a więc im mniejsza powierzchnia uderzenia, tym większe ciśnienie. Jeśli komórka upadnie tak, że siła wymierzona będzie tylko w mały kąt wyświetlacza, to owo łupnięcie będzie tak silne, że prawie nie da się uniknąć zniszczenia ekranu. Z tego samego powodu w razie spadania windy, którą jedziemy, należy się położyć możliwie płasko na jej podłodze, aby siła uderzenia była rozłożona na większą powierzchnię. Tyle że w takiej sytuacji jest to utrudnione, bo ciało znajduje się w czymś w rodzaju

sztucznej nieważkości. W windzie, dla własnego bezpieczeństwa, należałoby zawsze jeździć na leżąco, to jednak mogłoby doprowadzić do dziwnych reakcji pozostałych jej użytkowników… Ale to uwaga na marginesie – windy raczej nie spadają.

Najlepiej postarać się o ochronną osłonę na komórkę. Dzięki niej wyświetlacz mojego telefonu jeszcze nigdy nie uległ uszkodzeniu.

Teraz, kiedy jadę autobusem do Christine, stwierdzam, że w moim telefonie kończy się bateria, więc go wyłączam. Czas ładowania to bolesny temat, prawda? Czy wiecie, jak długo musiały się ładować komórki 15 lat temu? Trzeba było je ładować co trzy do sześciu dni, zależnie od tego, jak długo grało się w węża. Dzisiaj cieszę się, jeśli mój telefon wytrzyma bez ładowania jeden dzień. Ale jeśli się rozumie, jak od strony chemicznej działa bateria komórki, wie się też, co robić, aby działała jak najdłużej. I tu znów wracamy do hasła: „Co mi to da?”. Co rusz słyszę, że nauki przyrodnicze nie są nam potrzebne w życiu, dlatego w szkole można je ignorować. Mam jednak nadzieję, że zaraz zmienicie zdanie.

Istnieją różne rodzaje baterii czy akumulatorków do komórek. Najbardziej istotne w codziennym użytkowaniu są tzw. baterie litowo-jonowe (albo akumulatorki litowo-jonowe). Stosuje je firma Apple, która umieściła na swojej stronie komunikat: „W porównaniu z tradycyjnymi bateriami baterie litowo-jonowe ładują się szybciej, dłużej wytrzymują i mają wyższą gęstość mocy przy dłuższej żywotności i niższej wadze”. Najwyraźniej istnieją więc ważne powody, dla których komórki, tablety, laptopy, a także samochody Tesla mają zamontowane baterie litowo-jonowe.

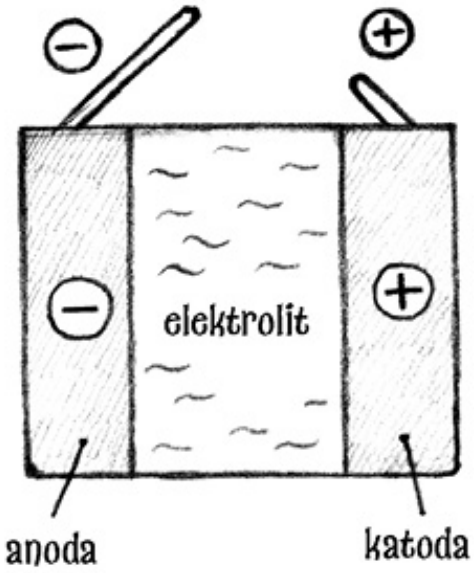
Krótki wtręt odnośnie do słownictwa: w tym rozdziale będę mówić tylko o bateriach ładowalnych – bez względu na to, czy będę je nazywać bateriami, czy akumulatorami. Niektórzy rozróżniają:

– baterie, zwane też ogniwami pierwotnymi, których nie można naładować po użyciu;

– akumulatorki, zwane też ogniwami wtórnymi, które można ładować.

Ale ponieważ akumulatorki są ogniwami wtórnymi, to są także bateriami i można je nazwać właśnie tak. Bateria dostarcza prądu do

urządzenia, a to oznacza przepływ elektronów, jest więc przenośnym dawcą elektronów. Budowę baterii przedstawia poniższy rysunek:



Podstawowa zasada działania każdej baterii

Najważniejsze części baterii to tzw. elektrody. Jedna znajduje się na biegunie ujemnym, druga – na dodatnim. Dodatnio naładowana elektroda to katoda; ujemnie naładowana to anoda. Możemy sobie wyobrazić, że owe dwa bieguny połączone są przewodzącym kablem, który przebiega przez komórkę i dostarcza prąd do wszystkich jej części. Elektrony przepływają więc przez komórkę od anody do katody. Ale obie elektrody są także połączone wewnątrz baterii przez tzw. **elektrolity**. Elektrolit to ciecz lub ciało stałe, które charakteryzuje się przewodnictwem jonowym. Jednak elektrolity nie przewodzą elektronów, lecz jedynie jony – zarówno dodatnie, jak i ujemne. Zresztą my też składamy się w dużej części z elektrolitu, a mianowicie z wody z jonami o różnych ładunkach.

Zasadnicze części baterii to: katoda, anoda i elektrolit. To, jakie materiały chemiczne zostały użyte do budowy owych trzech części, określa rodzaj baterii.

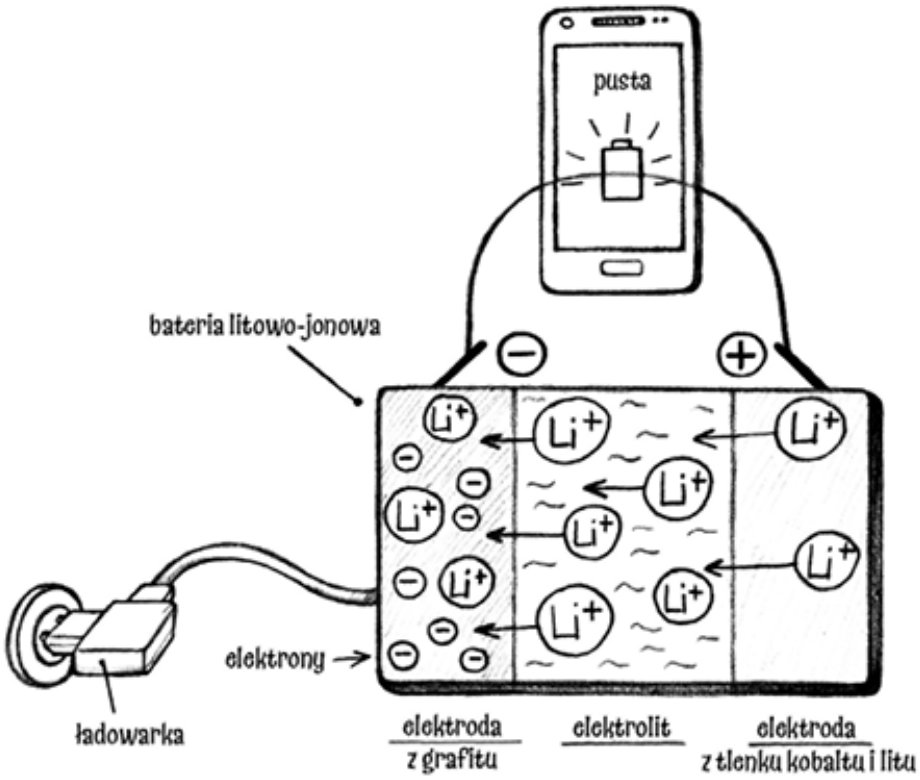
W bateriach litowo-jonowych katoda często składa się ze związku litu, tlenu i innego metalu, na przykład kobaltu. Jest to **tlenek**

kobaltu i litu. Atomy kobaltu i litu tworzą warstwy, między którymi znajdują się jony litu.

Anoda składa się przeważnie z grafitu, to znaczy z węgla. Grafit także ułożony jest warstwami.

Jeśli teraz podłączę moją komórkę do ładowarki, wprowadzam do baterii z zewnątrz odwrotne napięcie. I dzieje się coś dziwnego – przynajmniej językowo. Bo dopiero co nauczyliśmy się dwóch nowych pojęć: „anoda" i „katoda" – a już musimy je zmienić. W czasie procesu ładowania dodatnią elektrodę z tlenku litu i kobaltu nazywać będziemy anodą, a ujemną elektrodę z grafitu – katodą. Dokładnie odwrotnie niż w trakcie rozładowywania. Dlaczego chemicy tak utrudniają sobie życie? Ma to coś wspólnego z reakcjami chemicznymi, które zachodzą na elektrodach. Wrócimy do tego jeszcze, ale na razie łatwiej będzie mówić tylko o biegunie ujemnym i dodatnim.

Kiedy więc ładuję moją komórkę, biegun ujemny ładowany będzie tymi elektronami, które wędrują do materiału z grafitu. Poprzez ładowanie elektronami powstaje nadmiar ładunku ujemnego. To zasadniczo utrudnia ładowanie, bo takie same ładunki odpychają się, to znaczy ładunek ujemny odpycha ładunek ujemny, podobnie jest z ładunkami dodatnimi. Dlatego nie da się napompować elektrody ujemnymi elektronami. Ale przeciwne ładunki się przyciągają – i tu w grę wchodzą dodatnio naładowane jony litu, od których pochodzi nazwa baterii litowo-jonowej. Uciekają one od bieguna dodatniego, z elektrody zawierającej tlenek kobaltu i litu, wędrują przez elektrolity do grafitowej elektrody i tam – na biegunie ujemnym – witają elektrony ujemne.

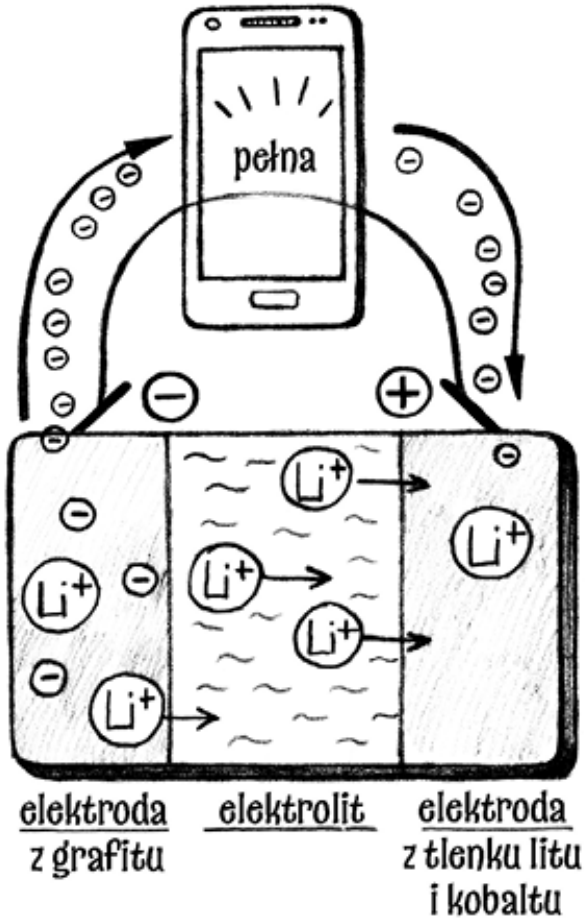


Owo wyrównanie ładunków umożliwia pełne naładowanie elektronami. Teraz elektrony nie siedzą „jak popadnie", ale od strony chemicznej są serdecznie witane. Równanie reakcji dla chemików: Cn + xLi+ + xe- otrzymujemy LixCn. Ale bez obaw, niechemicy powinni się zainteresować tylko pewną częścią tego równania, a mianowicie: + xe-. Pod „x" można podstawić dowolną liczbę x, a „e" oznacza elektron. To znaczy, że w tej reakcji chemicznej przyjmowane są elektrony. Zwie się to redukcją. **O redukcji mówi się zawsze wtedy, kiedy przyjmowane są elektrony jednego pierwiastka, jednego jonu albo związku chemicznego.**

Ponieważ zatankowałam już do pełna elektronami mój biegun ujemny, a biegun dodatni nie stał się kryjówką żadnych jonów, stworzyłam napięcie elektryczne pomiędzy oboma biegunami. Wyobraźmy sobie napięcie elektryczne jako spadek elektronów, jako coś w rodzaju stopnia wodnego czy też zapory na rzece. Naładowanie bieguna ujemnego elektronami przypomina przepychanie wody w górę rzeki. Jeśli otworzę śluzę, woda runie w dół z siłą wodospadu. I dokładnie tak się dzieje, gdy tylko usunę

kabel ładowarki. W czasie korzystania z komórki reakcja chemiczna się odwraca: pobrane elektrony znów są oddawane. I pędzą – jako prąd elektryczny – przez naszą komórkę. Owe przeciwieństwo redukcji to tzw. utlenianie. **A więc utlenianie to reakcja chemiczna, w czasie której elektrony są oddawane.**

I kiedy już oddane elektrony rozgrzewają komórkę, jony litu wędrują z powrotem, i to znaną im drogą – przez elektrolit. Po drugiej stronie, na biegunie dodatnim, znów spotykają się elektrony i jony litu. A gdy wszystkie elektrony przybędą na drugą stronę, bateria jest rozładowana – wówczas wszystko może się zacząć od początku!



Wróćmy jednak do naszego językowego zamieszania z katodą i anodą. W baterii, której nie mogę naładować, katoda odpowiada biegunowi dodatniemu, a anoda biegunowi ujemnemu. W bateriach

ładowalnych zgadza się to tylko w połowie – bo jak właśnie zobaczyliśmy, ładowanie i rozładowanie to dwa przeciwstawne procesy chemiczne. Dlatego trzeba tu zdefiniować katodę i anodę inaczej: **anoda to elektroda, w której zachodzi proces utleniania. I odpowiednio do tego katoda to elektroda, w której ma miejsce redukcja**. Przy ładowaniu komórki na biegunie ujemnym zachodzi redukcja, a na dodatnim – utlenianie, zaś przy wyładowywaniu jest dokładnie odwrotnie. Utlenianie i redukcja przebiegają więc jednocześnie i nigdy pojedynczo, zawsze jest to dawanie (utlenianie) i branie (redukcja) elektronów. Dlatego też językowo ujmuje się je razem jako **reakcje redoks**. Właśnie opanowaliście wprowadzenie do elektrochemii – moje gratulacje!

Na każdym kroku słyszymy, że powinno się wyładować baterię komórki do końca, zanim zacznie się ją ładować, i że trzeba uważać, by nie ładować jej zbyt długo. To prawda, jeśli mowa o bateriach niklowych, czyli takich, które używane są na przykład w pilocie do telewizora. Dotyczy to też starych baterii ołowiowych. Ale nowoczesne baterie litowo-jonowe można ładować dowolnie długo, bo dzięki ich budowie ładowanie zostaje automatycznie zatrzymywane, kiedy bateria jest pełna. W przeciwnym wypadku smartfon byłby dość niebezpieczny. I nawet był niebezpieczny, bo na przykład w 2016 roku zdarzyło się, że niektórym samsung galaxy note 7 eksplodował. Wewnątrz baterii znajdują się dosłownie naładowane energią materiały – zabezpieczone przed światem zewnętrznym i ewentualnymi partnerami reakcji. Jednak w przypadku ekstremalnego rozgrzania, uszkodzenia obudowy baterii bądź braków w obudowie, których efektem może być zbyt duże naładowanie, niewykluczone, że zrobi się nieprzyjemnie. W kombinacji z łatwopalnymi rozpuszczalnikami, które są składnikami elektrolitu, komórka może się zmienić w perfekcyjną minibombę.

Współwynalazcy baterii litowo-jonowej, Johnowi Goodenoughowi, aktualne modele nie wydają się już dostatecznie dobre. John pracuje nad jeszcze bezpieczniejszym wariantem. Zasadniczym punktem jego

budowy ma być stały elektrolit podobny do szkła. Ale bez obaw – przyczyną eksplodującego modelu samsunga był błąd w produkcji, który, miejmy nadzieję, tak szybko się nie powtórzy. Chociaż gdyby sobie wyobrazić olbrzymią eksplodującą baterię litowo-jonową w Tesli… Fiu, fiu!

Upał mimo wszystko nie jest dobry, m.in. dlatego, że reakcje chemiczne w wysokich temperaturach mogą przebiegać szybciej. Dlatego przegrzanie komórki prowadzi do jej szybszego wyładowania. Ogólny okres użyteczności baterii komórki lub laptopa będzie dłuższy, jeśli będziemy ją trzymali w chłodnym miejscu. Poza tym najlepiej zawsze mieć przy sobie kabel do ładowania, ponieważ baterie litowo-jonowe żyją najdłużej wtedy, gdy utrzymuje się je w stanie naładowania tak często, jak to możliwe. Wraz z każdym całkowitym wyładowaniem dochodzi do zużycia się materiałów i bateria traci wydajność. Im pełniejsza bateria, zanim zacznie ją się ładować, tym dłuższy okres jej żywotności. A więc – laptopa, o ile to możliwe, zawsze miejcie podłączonego do sieci, a komórkę ładujcie jak najczęściej. A jeśli jesteście w drodze i komórka wam pada, lepiej ją wyłączcie, zamiast wyładować do końca.

Niestety muszę włączyć swój telefon, bo znów jest mi potrzebny.

„Już jestem", piszę do Christine.

„Z boku", odpowiada.

Christine przeważnie wpuszcza mnie do instytutu przez boczne wejście, bo inaczej pan Lässig ma mnie na wizji. Pan Lässig to pracownik do spraw bezpieczeństwa instytutu, jest więc też odpowiedzialny za bezpieczeństwo laboratorium. Dzisiaj będzie na mnie patrzył wyjątkowo surowo, bo mam na sobie krótkie spodnie i sandały. I nie chodzi o to, że jest jakimś obrzydliwym typem, który zaczepia kobiety w bistro – po prostu do laboratoriów ze względów bezpieczeństwa wolno wchodzić tylko w pełnych butach i długich spodniach. Oczywiście nie wolno mi tu niczego dotykać, mimo że jestem chemiczką z wykształcenia. Mogą to robić tylko pracownicy instytutu, którzy odbyli u pana Lässiga odpowiednie przeszkolenie w kwestii bezpieczeństwa.

A ponieważ Christine pracuje też w weekendy, mogę użyć jej laboratorium jako planu filmowego – wystarczy na przykład rozlać na

podłodze ciekły azot i wykonać moonwalk przez mgłę. To znakomity materiał do zdjęć. (Oczywiście w pełnych butach i długich spodniach). Na szczęście pan Lässig nie ogląda filmów na YouTube.

Niezauważona przez pana Lässiga, wślizguję się przez boczne wejście i zmierzam, jak zawsze, w stronę biura Christine. Ale ona szarpie mnie za rękaw i mówi:

– Nie, tam jest Dino.

ROZDZIAŁ 7

INTERAKTYWNE DINOZAURY I BURGERY MONSTRA

Christine popycha mnie w stronę kafeterii zamiast w kierunku biura. Jak większość pomieszczeń instytutu także kafeteria jest nowoczesną, szklaną skrzynią. Wygląda to wprawdzie bardzo elegancko, ale człowiek czuje się cały czas obserwowany. Prawdopodobnie dlatego jest tu niemal pusto – przecież nikt nie chce zostać nakryty w trakcie leniuchowania. Ale Christine może sobie pozwolić na kawę w szklanej skrzyni. Moja przyjaciółka jest znana ze swego zaangażowania.

Także do wielkich laboratoriów można zajrzeć z każdej strony. Zawsze kiedy tu jestem i widzę białe kitle za szkłem, mam skojarzenie ze szczurami laboratoryjnymi. Kierownik instytutu, profesor doktor honoris causa, znany wszystkim jako King K, jest bardzo dumny z tych szyb. Ostatniego roku dane mi było wespół

z kilkoma kolegami z lokalnej i uniwersyteckiej prasy towarzyszyć mu w czasie ekskluzywnej wycieczki przez „pomieszczenia innowacji".

– To wspaniałe, że wpada tu tyle światła, prawda? Wiecie państwo przecież, że światło dzienne pobudza wydzielanie hormonu szczęścia, czyli serotoniny. Dlatego nasi współpracownicy są tak pełni radości! – oświadczył King K, prowadząc nas przez jasne laboratoria.

Pracujący jak mrówki doktoranci gorliwie przytakiwali, uśmiechając się grzecznie. King K to człowiek charyzmatyczny, ale dowiedziałam się od Christine, że za miłą dla mediów fasadą kryje się prawdziwy tyran. Pewnie dlatego na sztucznie uśmiechniętych twarzach dostrzegłam blady strach. King K już samym pojawieniem się wywołuje u doktorantów reakcje typu *fight-or-flight* (przede wszystkim *flight*).

Jeśli zaś chodzi o wspomniany hormon szczęścia i dobry humor, to wcale nie takie proste. **Serotonina** to hormon – i jak w przypadku większości hormonów jej molekuła oddziałuje na nasze ciało w różny sposób, co jest związane z całym spektrum kompleksowych łańcuchów reakcji. I to pragnę jeszcze raz podkreślić. Nie chciałabym jednak, abyście w trakcie czytania tej książki odnieśli wrażenie, że działanie hormonu można uprościć na zasadzie: hormon snu to melatonina lub: hormon stresu to kortyzol. Serotonina oprócz wielu funkcji ma wpływ na nasz nastrój i dlatego od lat łączy się ją z depresją.

Wiemy już, że przyczyn chorób psychicznych należy szukać w neurochemii. W psychologii istnieje pewne credo: „Wszystko, co psychologiczne, jest jednocześnie biologiczne". (A ja jestem na tyle bezczelna, że odważę się powiedzieć: Wszystko, co biologiczne, jest także chemiczne… Chociaż niestety nie oznacza to, że możemy dokładnie prześledzić chemię naszego ciała). Neurony, czyli komórki nerwowe naszego mózgu, komunikują się poprzez wysyłanie tam i z powrotem molekuł. Komórki nerwowe są połączone punktami kontaktowymi, tzw. synapsami. Nie jest to jednak kontakt fizyczny, bo między nimi znajduje się wąska szczelina – szczelina synaptyczna. Nad nią z jednej komórki nerwowej do drugiej przenoszone są molekuły neuroprzekaźników, które potem „parkują" po drugiej stronie w tzw. receptorach. Owe receptory rzeczywiście

można sobie wyobrazić jako parking, i to z rezerwacją miejsc, gdzie „zacumować" mogą tylko określone cząsteczki. To „cumowanie" w receptorze prowadzi albo do aktywacji sygnału, albo do jego zahamowania.

Neuroprzekaźniki mają więc takie samo zadanie jak **hormony** – są substancjami semiochemicznymi. To, czy molekułę nazwiemy neuroprzekaźnikiem, czy też hormonem, zależy od tego, w jaki sposób owa cząsteczka została wydzielona do organizmu. Jeśli jest wydzielona do synapsy, mówimy o neurotransmiterze. Jeśli jest wyprodukowana w gruczole, na przykład w szyszynce albo w nadnerczu, mówimy o hormonie. Serotonina może więc być zarówno hormonem, jak i neuroprzekaźnikiem.

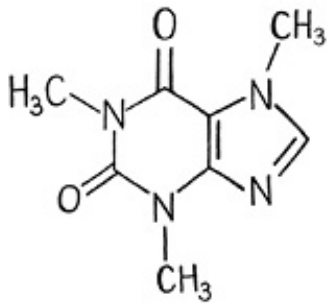
W latach 70. zaczęto podejrzewać, że niski poziom serotoniny może być przyczyną depresji. Można było też udowodnić, że podwyższony poziom serotoniny w mózgu chroni przed depresją. Dlatego przez długi czas posługiwano się prostą zależnością: depresja jest efektem braku chemicznej równowagi w mózgu, a dzięki medykamentom, które na przykład podwyższają poziom serotoniny, można ją zwalczyć. Ale przyczyn chorób psychicznych nie należy ograniczać do braku jednej małej molekuły – to byłoby zbyt proste. Fakt, że serotonina jest pomocna w leczeniu depresji, nie znaczy jeszcze, że jej brak jest przyczyną depresji. Tak jak fakt, że aspiryna pomaga na ból głowy, nie znaczy, że jej brak jest jego przyczyną. A mimo to środki antydepresyjne, które zawierają serotoninę, pomagają wielu ludziom cierpiącym na depresję. Czy występuje tu efekt placebo? Czy usuwane są tylko symptomy, czy także przyczyny? Kompleksowy związek między serotoniną i depresją ciągle jeszcze jest sprawą sporną. Ale tak to już jest w nauce – badania często niosą ze sobą rozczarowanie. Dzięki nauce i technice zaszliśmy wprawdzie bardzo daleko, ale dążenie do nowych odkryć to błędne koło. Wyniki często są sprzeczne albo brakuje im powtarzalności. Nie wszystko jest zawsze jasne i logiczne.

Istnieje pewna piękna przypowieść, która idealnie opisuje naukę i badania, a mianowicie przypowieść o ślepcach i słoniu. Grupa ślepców bada słonia – dla nich to nieznane zwierzę. Tylko poprzez dotykanie go są w stanie stworzyć sobie jakiś jego obraz. Ale każdy

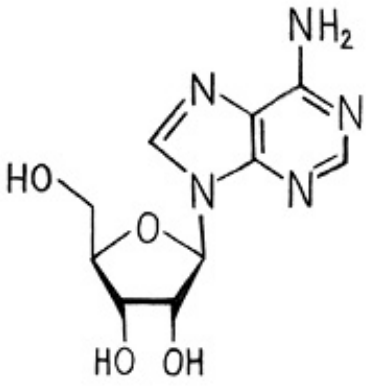
z nich dotyka tylko jednej części słonia. Jeden czuje pod palcami spiczasty kieł, drugi długą trąbę, trzeci ogromne uszy i tak dalej. Kiedy wymieniają się swoimi doświadczeniami, zauważają, że każdy z nich ma zupełnie inne pojęcie o tym zwierzęciu. Jeden z nich jest pewien, że słoń to kościste, chude zwierzę, ale drugi nie stwierdza nic podobnego. Coś takiego przytrafia się w czasie badań naukowych także nam, naukowcom – przede wszystkim wówczas, kiedy naszym słoniem jest tak szeroki temat jak depresja. Aby być jak najbliżej prawdy, musimy dostrzec owego słonia jako całość, tak by wszystkie nasze obserwacje, także te początkowo sprzeczne, poskładały się w kompletny obraz. I zawsze robimy to tylko przez dotykanie słonia. Jesteśmy ciągle ślepi.

Zostawmy jednak mroczne przypowieści i skupmy się na dobrze zbadanej chemii mózgu. Christine i ja siedzimy w kafeterii i dostarczamy naszym mózgom **kofeinę**. Bo nasz mózg nie tylko posiada receptory neuroprzekaźników, ale także na przykład receptory kofeiny. Co prawda nastąpiło to przez pomyłkę, bo kofeina jest łudząco podobna do innej właściwej dla naszego ciała cząsteczki – **adenozyny**.

kofeina



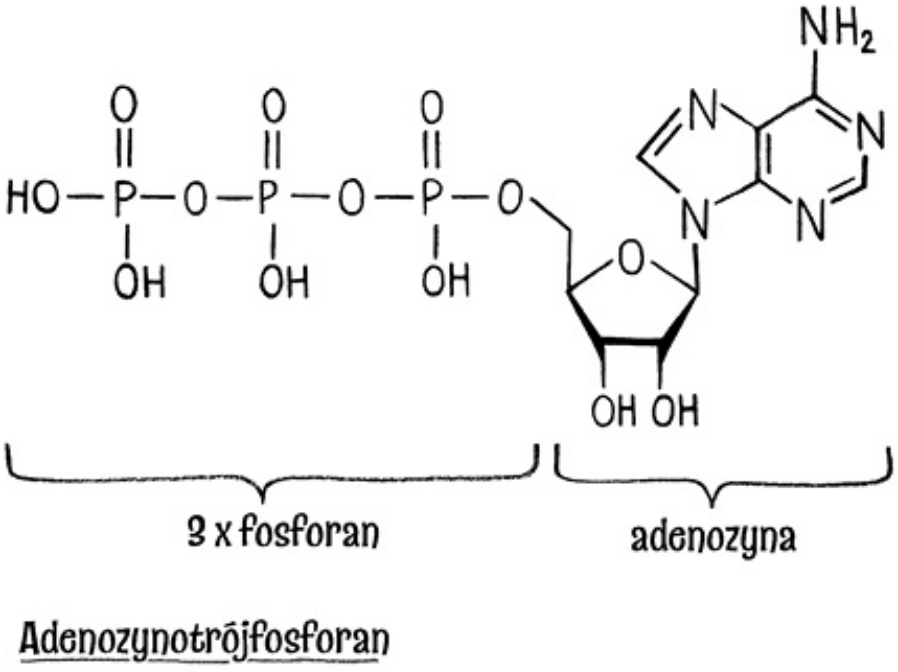
adenozyna



No tak, chemiczne struktury nie wydają się nam szczególnie podobne, ale dla mózgowego receptora adenozyny są jak najbardziej tożsame. Nie chodzi tu bowiem o wygląd, lecz o to, czy molekuła

pasuje do receptora. „Wolne miejsce parkingowe” w receptorze adenozyny jest zbudowane tak, że ona sama mieści się tam znakomicie – i zupełnie przypadkowo dotyczy to też kofeiny.

Zadaniem adenozyny jest zasygnalizować nam, kiedy jesteśmy zmęczeni. Im więcej molekuł adenozyny „cumuje” w jej receptorach, tym bardziej zmęczeni się czujemy. Skąd właściwie bierze się adenozyna? Jej powstawanie związane jest ze zużyciem energii. Im więcej energii zużywamy, tym więcej adenozyny powstaje. Jeśli nasze ciało produkuje więcej energii – czy to w trakcie uprawiania sportu, czy też tylko przy oddychaniu albo myśleniu – potrzebuje molekuły o nazwie **adenozynotrójfosforan** (w czasie uprawiania sportu więcej, a przy myśleniu mniej).



Adenozynotrójfosforan

Adenozynotrójfosforan jest jednostką energii naszego ciała. W skrócie zapisuje się go jako ATP, ale nazwa zapisana w całości wydaje mi się ciekawsza, bo nawet od strony językowej widać, że adenozynotrójfosforan w razie utraty owych trzech fosforanów jest tylko adenozyną. W ten sposób łatwo zapamiętać: im więcej molekuł ATP zużyjemy, tym więcej powstanie adenozyny. (Biolog

powiedziałby pewnie coś innego, ale po co komplikować sprawę). A im więcej adenozyny blokują nasze receptory, tym bardziej jesteśmy zmęczeni.

Jest jednak coś takiego jak kawa! Kiedy do naszego organizmu dostanie się kofeina, po zaledwie piętnastu minutach jej molekuły docierają do receptorów adenozyny, gdzie natychmiast „parkują". Potrafią nawet wyrzucić ze swoich miejsc cząsteczki adenozyny! Parking jest wolny dla molekuł kofeiny, ale receptor tego nie zauważa. Nie widzi adenozyny, więc myśli, że jest wolny – a my jesteśmy rozbudzeni!

W tej chwili jednak mimo kawy Christine jest nieco przybita, bo właśnie się dowiedziała, że jej manuskrypt nie został przyjęty do publikacji. „Jedyną różnicą pomiędzy wygłupami a nauką jest to, że naukę się dokumentuje", mówi Adam Savage z *Pogromców mitów.* I ma rację. Sam eksperyment to jeszcze nie nauka. Dopiero gdy na drodze dokumentacji doprowadzi się do nowego odkrycia, można go przyjąć i opublikować jego wyniki. To długi i nierzadko frustrujący proces, który mimo wszystko sam w sobie jest nauką. Kiedy już dostarczy się ów artykuł do redakcji naukowego dziennika, jego redaktor szuka rzeczoznawców, przeważnie wśród profesorów innych uniwersytetów, którzy zajmują się tą samą dziedziną. Dla nich autor będzie postacią zupełnie anonimową. Przeczytają i ocenią manuskrypt, po czym zdecydują, czy zasługuje on na publikację. Najpierw jednak trzeba będzie starannie opracować ich uwagi, często pełne danych, albo dostarczyć dodatkowe wyniki eksperymentów. Taką ocenę wykonaną przez kolegów (*peers)* nazywamy **peer review**; ma ona na celu zapewnienie odpowiedniej jakości publikacji naukowych. Manuskrypt może być odrzucony przez kilka dzienników naukowych, zanim – po starannym opracowaniu – wolno go będzie w którymś opublikować. I tak na przykład zdarza się, że pierwszy rzeczoznawca uzna pracę za znakomitą, ale już drugi nie będzie do niej przekonany. I właśnie to się przytrafiło Christine. Pokazuje mi komentarze i mówi:

– Przeczytaj to, proszę, jeszcze raz. Facet najwyraźniej nie zrozumiał całego fragmentu!

– Albo kobieta! – uzupełniam z przyganą.

– Ktokolwiek to był, nie zrozumiał

– Może to dobrze. Jeszcze raz przerobisz ten tekst.

W przypadku naukowego artykułu zawsze zachodzi niebezpieczeństwo „pułapki eksperckiej". Będąc ekspertem, łatwo stracić wyczucie. Naukowcy mają skłonność do skomplikowanego sposobu komunikowania się między sobą – i w ogóle tego nie zauważają! A ludzie często nie dają po sobie poznać, że czegoś nie rozumieją. Bo przecież istnieje ryzyko, że tylko ja wyjdę na głupka, który czegoś nie zrozumiał – a to byłoby niemiłe. Kiedy na początku pisania pracy doktorskiej siedziałam na wykładach innych doktorantów, byłam przekonana, że jestem niewiarygodnie głupia, bo mało co rozumiałam. Dziś wiem, że to niektóre wykłady prowadzone były w niezrozumiały sposób.

O ile jednak niezrozumiały wykład to tylko strata czasu słuchaczy, o tyle chaotyczny artykuł to strzał w kolano. Najlepiej więc poprosić kogoś, aby sprawdził, czy wszystko jest zrozumiałe.

– Możesz rzucić na to okiem? – prosi Christine.

– Jasne.

Nauka zrozumiała dla wszystkich stała się już moją specjalizacją.

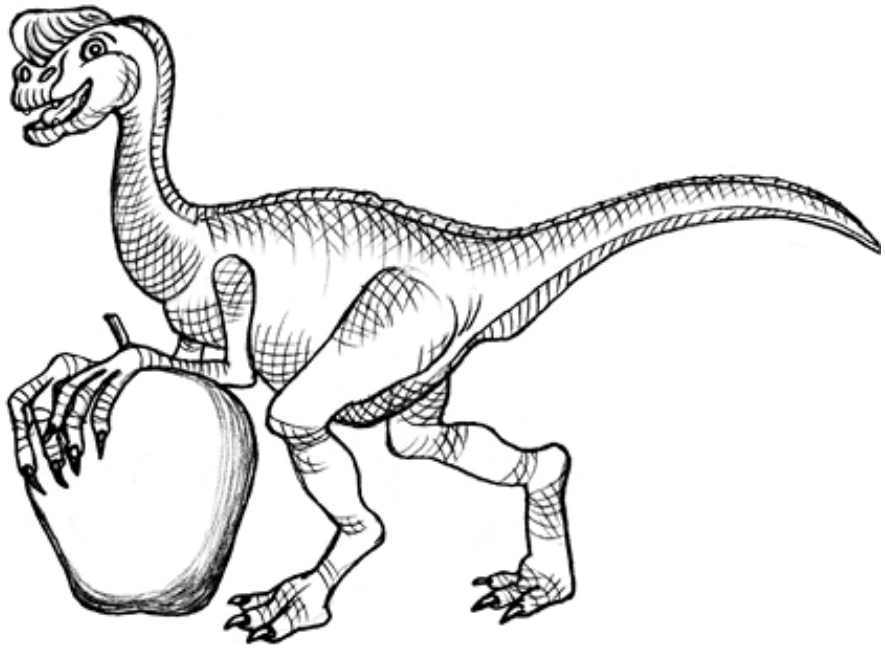
Zwykle siedzimy w biurze Christine. W przeciwieństwie do pozostałych „innowacyjnych pomieszczeń" jest ono tylko na wpół oszklone i mamy trochę prywatności. Jednak od niedawna Christine dzieli przestrzeń z Dino. Dino tak naprawdę nazywa się Torben i jest postdokiem u Kinga K. Wygląda trochę jak owiraptor[2] i dlatego potajemnie, choć czule nazywamy go Dino. Jest osobliwie kościsty, chodzi lekko przygarbiony, przechylony do przodu. Myślę, że porównanie go do owiraptora nie jest zbyt trafne, bo owiraptory były przebiegłymi i bezczelnymi dinozaurami, które kradły jaja innym dinozaurom. Torben zaś nigdy nie zrobiłby czegoś podobnego. Gdy mówię o tym Christine, wyjaśnia mi, że określenie „złodziej jaj", co w tłumaczeniu znaczy dokładnie „owiraptor", ma swój początek

w pomyłce. A mianowicie kiedyś znaleziono szkielet owiraptora pochylonego nad gniazdem z jajami i wysnuto błędny wniosek, że kradł jaja. Później okazało się, że były to jego własne jaja, a pochylał się nad nimi z tkliwością, a nie z chęcią zwędzenia. Możliwe więc, że owiraptory były całkiem miłymi dinozaurami. Dokładnie tak jak nasz kolega.

Torben jest szczególnie wybitnym rodzajem nerda i nie mówię tego ot tak. Zauważyliście już, że sama należę do nerdów. Z trudnością przychodzi mi patrzenie na świat inaczej niż przez okulary naukowca przyrodnika. I tylko wtedy, kiedy naprawdę muszę, przenoszę się w drugą, smutną przestrzeń, gdzie porozumiewam się w „zwyczajny" sposób. Torben jest przede wszystkim chorobliwie nieśmiały – niemal na granicy zaburzeń lękowych. I nie mówię tego z ironią. Fobia społeczna jest uznawanym w medycynie zaburzeniem lękowym, zgodnie z aktualną klasyfikacją Amerykańskiego Towarzystwa Psychiatrycznego. Nie zamierzam udawać, że jestem w stanie dokonać diagnozy psychologicznej, zwłaszcza na odległość. Zetknęłam się z Dino tylko raz, a większość informacji, które mam na jego temat, pochodzi z opowiadań Christine. Kiedy byłam tu po raz ostatni, był kimś zupełnie nowym w instytucie. Siedziałyśmy w biurze Christine dokładnie naprzeciw Dino, który sprawiał wrażenie kogoś, kto wolałby w tym momencie siedzieć gdzie indziej. Ponieważ miałam ze sobą suszone plasterki jabłek – prawdziwych jabłek, a nie sztuczne haribo – poczęstowałam nimi Dino. Z początku udawał, że nie dostrzega tego gestu, ale wprawne oko nerda pozwoliło mi zauważyć, że intensywnie rozmyśla nad moją ofertą. Kluczem w takich sytuacjach jest niedostrzeganie owej nieporadności. W trakcie dłuższych, kłopotliwych przerw w rozmowie nie należy się nerwowo śmiać, lecz po prostu czekać z zaciekawieniem na to, co powie druga strona (także tu pomaga zasada: Bądź jak gaz szlachetny!). Bo jeśli się nad tym zastanowić, wiele zachowań w relacjach międzyludzkich nie ma logicznego sensu. A niektóre nerdy są w stanie myśleć tylko logicznie. Dlatego nie tkwią uparcie w kokonach eleganckich small talków i innych towarzyskich konwenansów, bo czują się w nich nadzwyczaj nieporadnie. Często już po kilku pierwszych interakcjach na zawsze otrzymują łatkę

dziwaków. Ale jeśli jest się w stosunku do nich otwartym, tylko kwestią czasu jest pęknięcie owego kokonu. Wówczas okazuje się, że za najbardziej milczącymi i skrytymi typami w rodzaju Dino kryją się naprawdę ciekawi ludzie.

Trzymałam więc torebkę z plasterkami jabłek wyciągniętą w stronę Dino tak długo, aż ten w końcu się poczęstował. Christine, która już jakiś czas temu wzięła go pod swoje skrzydła, skwitowała żartobliwie: „A może to jest dla ciebie zbyt niezdrowe?”. Dino odpowiedział spokojnie, trzymając w palcach plasterek: „Mam silną alergię na jabłka”.



– Co słychać u Dino? – pytam teraz.

– Gram rolę jego mamusi – wzdycha Christine. – Wiesz, jak to jest, kiedy małe kaczątka zaraz po wykluciu się z jaj biorą za swoją mamę pierwszy ruszający się obiekt i chodzą za nim krok w krok? Dino jest właśnie takim moim kaczątkiem.

– Mały Dino – mówię ze śmiechem.

– Jest już wpół do trzeciej – mówi moja przyjaciółka. – Zaraz zamykają stołówkę, a on jeszcze nic nie jadł, tylko dlatego że ja wciąż nie poszłam na obiad.

– Wow…

– Tak, przygotuj się na to, że od teraz istnieję tylko w dwupaku z Dino.

Chcąc nie chcąc, wyobrażam sobie, jak Christine i Dino za pięćdziesiąt lat siedzą w bujanych fotelach przed kominkiem i robią na drutach.

Ruszamy szybko w drogę do stołówki, zanim ją zamkną. Christine chce sprawdzić, co się stanie, jeśli nie zabierze ze sobą Torbena. Aby tam dotrzeć, trzeba przejść koło jej biura. Zaglądamy przez oszkloną szybę. Dino siedzi przed swoim komputerem i najwyraźniej nas nie widzi, ale Christine jest pewna, że zaraz za nami pójdzie. Czy także wtedy, kiedy jej towarzyszę? Bądź co bądź, ostatnim razem prawie go otrułam suszonym jabłkiem.

A jeśli przy truciu jesteśmy – któregoś dnia, było to na ostatnim roku studiów, przed uniwersytecką stołówką zebrała się grupka około trzydziestu studentów. Z transparentami w rękach demonstrowali przeciwko stosowaniu konserwantów w produkcji żywności. Moim zdaniem stołówka bez konserwantów to nie najlepszy pomysł. Jestem wielką zwolenniczką świeżych artykułów spożywczych, sama gotuję i staram się ich używać, a jednak cieszę się, że w stołówce, w której codziennie żywią się tysiące ludzi, stosuje się jeden czy kilka konserwantów. Przecież świat jest pełen różnorakich bakterii, grzybów i innych mikroorganizmów. A one też muszą coś jeść – na przykład nasze jedzenie. I nie miałabym nic przeciwko temu, aby dzielić się z tym towarzystwem, w końcu nie jest zbyt łakome, gdyby nie zamieniało mojego jedzenia w śmierdzącą katastrofę. Już nie mówiąc o zatruciach, które z tego wynikają. Salmonellę znamy, ale lista jest o wiele dłuższa. Na przykład taki botulizm – brzmi jak nauka filozoficzna, ale to niebezpieczne dla życia zatrucie toksyną botulinową (znaną też jako jad kiełbasiany), która znajduje się w konserwach mięsnych, ale też rybnych albo warzywnych.

Obok bakterii istnieją czysto chemiczne procesy, w efekcie których żywność może ulec zepsuciu. Klasyczna reakcja chemiczna, na

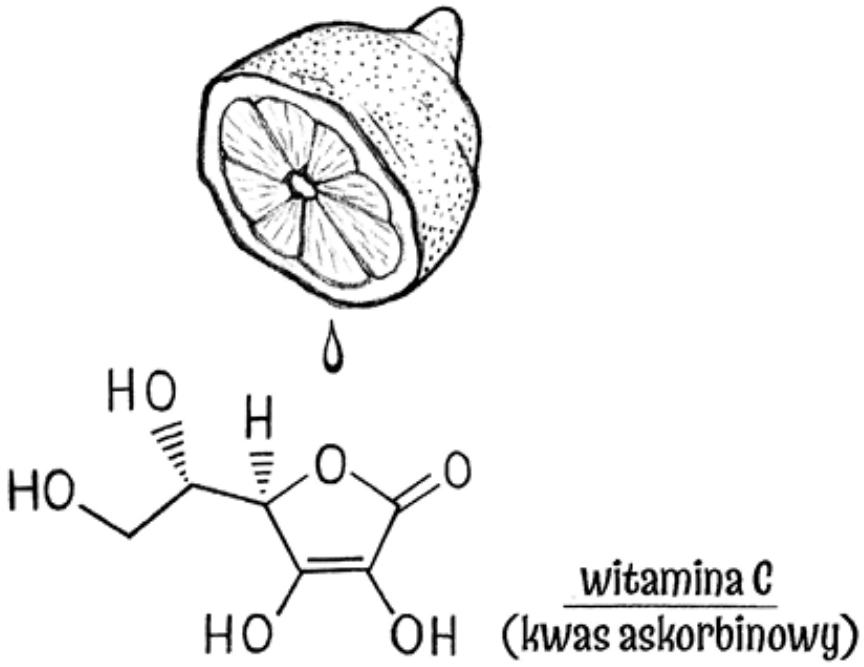
skutek której psuje się żywność, to znane nam już z fragmentu o bateriach w telefonach **utlenianie.**

Utlenianie można zdefiniować na różne sposoby. W baterii do komórki będzie to reakcja chemiczna polegająca na oddawaniu elektronów – to ogólna definicja. Ale utlenianie można opisać nieco bardziej „dosłownie" – mianowicie jako reakcję chemiczną z tlenem. Jeśli tłuszcze reagują z tlenem, to znaczy: jeśli się utleniają, stają się zjełczałe i nie nadają się do jedzenia. Kiedy nadkroimy jabłko, nastąpi utlenianie tzw. polifenoli, co objawia się jako brązowienie owocu. Może zauważyliście, że pewne gatunki jabłek brązowieją szybciej, a inne wolniej. Granny smith lub golden delicious z reguły są uboższe, jeśli chodzi o zawartość polifenoli. Wprawdzie wyglądają ładniej, ale są gorsze dla alergików, takich jak choćby Dino. Im wyższy bowiem poziom polifenoli jabłka, tym lepiej dla alergika. Do utleniania potrzebne są z reguły tzw. enzymy. Należą one głównie do rodziny protein i można je znaleźć wszędzie – u ludzi, zwierząt, w roślinach i owocach. Są niesłychanie różnorodne pod względem struktury chemicznej i sposobu funkcjonowania, ale mają cechę wspólną – w reakcjach chemicznych działają jak **katalizatory**. A to oznacza, że enzymy mogą pomóc molekułom robić to, co te i tak zamierzały zrobić – ale czego zrobić nie były w stanie. Zupełnie jak sympatyczny młody mężczyzna, który pomaga starszemu panu wysiąść z tramwaju. Inne enzymy sprawiają wrażenie dobrego biura matrymonialnego, które wie, jak połączyć odpowiednich partnerów. Jeszcze inne przypominają pomoce kuchenne, które biorą się do krojenia mięsa czy warzyw i dzięki temu wszystko idzie szybciej.

Enzymy to zadziwiająco różnorodna klasa substancji. Jabłka nie brązowieją tak po prostu, kiedy tylko zetkną się z tlenem; zawierają enzym o nazwie oksydaza polifenolowa, w skrócie PPO, który niejako asystuje w procesie brązowienia. PPO jest odpowiedzialny za utlenianie polifenoli. Jest to typowy enzym. Także nasza przemiana materii nie mogłaby się odbywać bez enzymów, zresztą jak większość reakcji chemicznych, które utrzymują nasz organizm przy życiu. Dlatego osobiście nie toleruję alkoholu – bo jeden z moich enzymów rozkładających alkohol jest zniszczony. Ale do tego wrócę w rozdziale 13.

Psucie się jedzenia nie jest więc niczym innym jak wieloma niepożądanymi reakcjami chemicznymi. Efektywna konserwacja fizykalna następuje dzięki lodówce i zamrażarce – im niższa temperatura, tym wolniej przebiega większość reakcji chemicznych. Poza tym istnieje sporo strategii chemicznych chroniących jedzenie przed zepsuciem: albo utrudnia się to mikrobom, albo enzymom, albo też usuwa się tlen. Wszystkie drogi prowadzą do Rzymu.

Zacznijmy od **tlenu**. Na Ziemi niełatwo jest cokolwiek przed nim uchronić, bo tlen jest składnikiem powietrza (z tego powodu akurat nie będziemy się skarżyć). Producenci mogą jednak albo pakować artykuły spożywcze próżniowo, albo produkować opakowania w atmosferze obojętnej (jak argon czy azot z rozdziału 6). Atmosfera obojętna w przypadku artykułów spożywczych to z reguły uboga w tlen mieszanka azotu i dwutlenku węgla. Jeśli chodzi o opakowania artykułów spożywczych, nie można w stu procentach wyeliminować tlenu, ale im mniej kontaktu z nim, tym mniej utleniania. Jeśli posmaruje się przecięte jabłko warstwą nutelli, krem ochroni je przed tlenem, choć przekąska nie będzie najzdrowsza. To, co zdrowsze, jest wam prawdopodobnie znane: to sok cytrynowy, który należy wycisnąć na jabłko. Zawiera on witaminę C, a to tzw. antyutleniacz (antyoksydant).



O **przeciwutleniaczach (antyoksydantach)** dużo się ostatnio wspomina, pojawiają się coraz częściej także w reklamach kosmetyków. Definicja chemiczna – i bardzo dosłowna – mówi, że antyoksydant jest substancją, która uniemożliwia utlenianie, a to dlatego, że bardzo dobrze i chętnie reaguje z tlenem. Jak męczennica rzuca się wprost na linię ognia i krzyczy: Zostawcie polifenole w spokoju! Weźcie mnie!

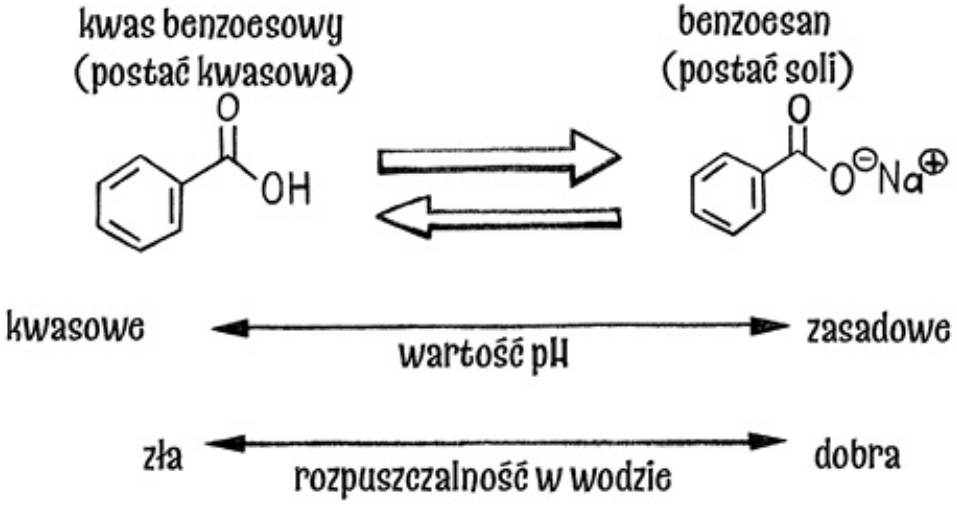
Ale sok cytrynowy jest też kwaśny. A kwas dokucza wielu enzymom. Enzymy bowiem to wielkie, kompleksowe molekuły o bardzo zmyślnej konstrukcji, które sprawiają wrażenie poskładanych, zupełnie jak odjazdowe origami. W ich trójwymiarowej strukturze tkwi tajemnica ich precyzyjnej pracy. Mogą planowo połączyć dwóch partnerów reakcji w ten sposób, że na przykład jednego z nich wsadzą do perfekcyjnie poskładanej kieszeni i tam zatrzymają, tak aby drugi partner miał łatwiejsze zadanie. Kwas może jednak rozłożyć enzymy – wówczas wraz ze stratą swojej trójwymiarowej struktury stracą one także zdolność działania jak katalizator. Dlatego ogórki w occie trzymają się dość długo – kwas octowy je konserwuje. Są nawet bakterie, które wraz

z kwasem konserwują artykuły spożywcze. Nie muszę podkreślać, że nie wszystkie bakterie są dla nas szkodliwe. Poza tym to, co złe, czasami towarzyszy temu, co dobre: kwaśne mleko powstaje w efekcie działania kwasu mlekowego, który jest produkowany przez bakterie. Podczas produkcji jogurtu oraz sera wykorzystuje się to świadomie i miesza się mleko z określonymi bakteriami kwasu mlekowego, które zamieniają je w kwaśne, ale jadalne i dłużej przydatne do spożycia produkty. To ta sama sztuczka co przy kiszeniu kapusty, która, jak wiadomo, jest długo przydatna do spożycia.

Ocet i bakterie kwasu mlekowego nie są jednak problemem. Są nim chemiczne substancje konserwujące. Ustalmy, że będziemy je określać terminem „syntetyczne substancje konserwujące", a więc takie, które powstają w laboratoriach. Jeśli spojrzymy na opakowania dowolnego artykułu spożywczego, zobaczymy, że zawiera on syntetyczne substancje konserwujące oznaczone tajemniczymi numerami poprzedzonymi E. Najważniejsze z nich to kwasy, na przykład **kwas sorbowy** i jego sole, czyli **sorbaty**. Na liście składników oznaczone są one jako E 200, E 202 albo E 303. Pod względem struktury chemicznej trochę przypominają one kwasy tłuszczowe i ich sole, które zawiera mydło. Rozkładają się także jak naturalne kwasy tłuszczowe zawarte w żywności – nie ma więc żadnych obaw, jeśli chodzi o ich ewentualną toksyczność. Ale pod względem woni czy smaku sorbaty i kwas sorbowy są dość subtelne.

Czasami potrzebne są też inne kwasy, na przykład **kwas benzoesowy** oraz jego sole – **benzoesany**. Te oznaczone są symbolami E 210 do E 213. Znoszą one działanie drożdży i pleśni, które rozrastają się także przy niskim współczynniku pH, w obecności innych kwasów. Kwasy te stosowane są przy produkcji innych artykułów spożywczych, jak majonezy czy konserwy rybne, a także w kwaszarnictwie czy do napojów typu softdrinki. Kwas benzoesowy jest bardziej „wredny" niż sorbowy. Podejrzewa się go m.in. o to, że przyczynia się do hiperaktywności u dzieci. Obawy te nie są jednak poparte dowodami naukowymi, jak stwierdziły władze europejskie zajmujące się bezpieczeństwem artykułów spożywczych. Kwas benzoesowy i benzoesany oficjalnie uznano za bezpieczne.

Istnieją jednak pewne kwestie, które mnie, jako chemiczkę, niepokoją szczególnie. W kółko czytam: „Kwas benzoesowy to naturalny środek, dlatego jest nieszkodliwy, a benzoesany są środkami syntetycznymi, dlatego są niebezpieczne". I znów ten ślepy chemizm! Kwas benzoesowy i benzoesany to przecież różne postacie tej samej cząsteczki. Kwas benzoesowy, podobnie jak kwasy tłuszczowe, jest tzw. kwasem karboksylowym. A kwasy karboksylowe występują zawsze w dwóch różnych postaciach: kwasu i soli. Podobnie jak w tłuszczach i mydle postać kwasowa jest trudno rozpuszczalna w wodzie, zaś postać soli, czyli zjonizowana, dobrze rozpuszczalna. O tym, czy jest to pierwsza, czy druga postać, decyduje wartość pH ich otoczenia. W otoczeniu zasadowym (przy wysokim współczynniku pH) mamy benzoesan, zaś w otoczeniu kwaśnym (przy niskim współczynniku pH) – kwas benzoesowy. Jeśli dodamy benzoesanu do kwaśnego artykułu spożywczego – a właśnie tak się go stosuje – część benzoesanów, chcąc nie chcąc, zamieni się w kwas benzoesowy. Nigdy jednak nie będzie to „naturalne" w stosunku do tego, co „chemiczne"! Dopuszczalne wartości i tak są ustalane niezależnie od tego – i nie są przekraczane.



Na liście składników, gdzie dodatki wymienione są według ilości, numery E substancji konserwujących podane są przeważnie na szarym końcu, a więc nie ma ich wiele. Mimo wszystko ich

toksyczność musi być sprawdzona tak dokładnie, jak tylko możliwe. Możliwości techniczne w laboratoriach ciągle się rozwijają i dlatego można łatwiej niż kiedyś zebrać dane potrzebne do długich badań. Badania są ważne także dla dodatków dopuszczonych już do zastosowania, aby wydane zezwolenie można było kontrolować w regularnych odstępach na bazie nowych, solidnych danych. To, że badania są przeważnie skomplikowane i mogą trwać długo, już wiecie. Ale jeśli chodzi o zdrowie i bezpieczeństwo, nawet niekompletne jeszcze wyniki należy traktować poważnie, jeśli zachodzi podejrzenie szkodliwości. Wówczas odpowiednio wcześnie można zacząć rozważać inne alternatywy. Nie chodzi oczywiście o chemizm! Nie należy też siać paniki, zwłaszcza gdy nie ma jeszcze żadnych sensownych alternatyw.

Osobiście doskonale rozumiem odrzucanie „sztucznych" i przedkładanie nad nie „naturalnych" substancji. Sama wolę świeże jedzenie, bo po prostu lepiej smakuje. Tyle że metka z napisem: „naturalne" wcale nie daje gwarancji, że coś jest świeże. Widać to wyraźnie wtedy, kiedy się porówna naturalne i syntetyczne substancje zapachowe i smakowe. Jeśli wiemy, które molekuły wpływają na aromat naturalnego owocu, można je albo wyekstrahować (uzyskać w sposób naturalny), albo samemu wyprodukować w laboratorium (chemia!). Nie ma różnicy między cząsteczkami pochodzącymi z natury a tymi wyprodukowanymi w laboratorium, o ile są to te same struktury chemiczne. Natura jest jednak o wiele lepszym i bardziej doświadczonym chemikiem niż wszyscy ludzie nauki razem wzięci. Smak to często bardzo pomysłowa mieszanina różnych molekuł, a skład sztucznych aromatów jest zwykle bardziej uproszczony. Ale to oznacza też, że są one tak bezpieczne jak aromaty naturalne, a może nawet bardziej, ponieważ każdy pojedynczy składnik aromatu sztucznego jest znany i dobrze sprawdzony.

Poza tym jeśli gdzieś jest napisane: „zawiera tylko naturalne aromaty", to nie znaczy, że owe aromaty pochodzą z odpowiedniego owocu. „Naturalny aromat kokosu" nie pochodzi od orzecha kokosowego, lecz bazuje na molekule o nazwie *massoia lactone*,

pobieranej z kory rośliny massoia. Owszem, jest to naturalne, ale nie jest to kokos.

Jeśli w trakcie jedzenia zwracamy uwagę na trwałość artykułu, nie powinniśmy z góry dyskredytować wszystkich syntetycznych dodatków. Na przykład kwas cytrynowy, który jest stosowany jako środek konserwujący, występuje oczywiście w cytrynach i innych owocach cytrusowych. Ale na całej naszej planecie nie ma aż tylu cytryn i owoców cytrusowych, żeby mogły one pokryć zapotrzebowanie na kwas cytrynowy. Chwalę więc sobie kwas cytrynowy wyprodukowany w warunkach sztucznych, zwłaszcza że nie ma żadnego znaczenia, czy jego molekuła pochodzi z rośliny, czy też została wyprodukowana przez jakąś chemiczkę.

Widzicie? Chemia nie jest taka zła!

À propos chemii: czy przypominacie sobie sprawę tajemniczego cheeseburgera z McDonalda, który nigdy się nie psuł? Pewna kobieta nazwiskiem Karen Hanrahan w 1996 roku kupiła sobie w McDonaldzie cheesburgera, którego, co całkiem możliwe, do chwili obecnej nosi ze sobą (ostatni raz słyszałam o nieśmiertelnym burgerze w 2012 roku). Wiele lat (sic!) po tym, jak go kupiła, był całkiem dobry, nie widać było na nim śladów zepsucia i wyglądał dokładnie tak jak świeży cheeseburger z McDonalda. Oczywiście ta historia trafiła na nagłówki wielu artykułów w gazetach. Co, do diabła, jest w tym burgerze monstrum? Jaki koktajl chemikaliów mógł doprowadzić do czegoś takiego?? Co my w ogóle właściwie jemy??? Odpowiedź rozczarowuje, ale też przynosi ulgę: w burgerze nie było żadnego składnika nie z tej ziemi – po prostu burger z McDonalda jest bardzo suchy. I w krótkim czasie wysechł do tego stopnia, że ani bakterie, ani grzyby nie miały wody, aby wykonać swoją zwykłą pracę. Karen Hanrahan była bardzo zaangażowana w to, aby ostrzec nas przed fast foodami, a wysuszony cheeseburger był rekwizytem, który naprawdę robił wrażenie. I wykorzystywała go jako „dowód” na to, że chemia środków konserwujących jest zła i niedobra. W zasadzie popieram cel, jaki sobie obrała – warto ograniczyć spożycie fast foodów. Ogarnia mnie jednak złość, kiedy

wyniki badań naukowych wykorzystuje się w tak przewrotny sposób. Istnieje przecież wiele innych, uzasadnionych naukowo powodów, które wyjaśniają, dlaczego fast food to zło!

Czego jeszcze dowodzi historia z cheeseburgerem? Na przykład tego, że nie tylko tlen prowadzi do psucia się żywności, ale także woda. Można więc dobrze wysuszyć jedzenie albo obłożyć je kryształkami cukru lub soli (oczywiście nie jest to zdrowe). Zarówno cukier, jak i sól pochłaniają wodę i są tak dalece hydrofilowe, że przyciągają jej molekuły w nieodparty sposób. Molekuły wody tulą się ciasno do jonów soli bądź cukru i w efekcie mikroby nie mogą już nimi dysponować.

Niewielki protest studentów przed stołówką nie spowodował, że zrezygnowano ze środków konserwujących. Ale informację o nich, i to bardzo transparentną, wprowadzono do kart dań. Choć obawiam się, że wymienienie substancji konserwujących i tajemniczych numerów z poprzedzającą je literą E tylko jeszcze bardziej niepokoi ludzi. Za to o tym, że substancje konserwujące są częścią naszego powszedniego dnia, większość ludzi wie o wiele za mało. Dlatego moje credo brzmi: Musimy lepiej rozumieć chemię! Ze wszystkimi jej niuansami, szansami i ryzykiem.

Oczywiście powinniśmy spożywać nieprzetworzone – i najlepiej lokalne – produkty, kiedy tylko jest to możliwe. Ale czasami musimy być pragmatyczni i uświadomić sobie, co następuje: luksus kupowania artykułów spożywczych w supermarkecie, jak też „luksus" jadania w stołówce wynika z postępu liczącego setki lat – i bez substancji konserwujących byłby nie do pomyślenia. A środki konserwujące to tylko przykład wielu innych substancji. Generalnie chemii i substancjom syntetycznym zawdzięczamy niesłychanie wiele. Obawiamy się trucizn i sztucznych chemikaliów, ale jesteśmy ślepi na niezliczone pozytywy, a to właśnie one ułatwiają nam powszedni dzień, a nawet ratują życie – są to bowiem też lekarstwa, materiały izolacyjne stosowane w kablach przewodzących prąd czy… spray zwiększający objętość włosów. W niektórych przypadkach lęk przed chemią przypomina mi strach przed szczepieniami – a te

ostatnie funkcjonują przecież tak dobrze, że zapomnieliśmy już o wielu strasznych chorobach, które zniknęły właśnie dzięki nim. Życie bez ospy, szkarlatyny, dyfterytu czy też choroby Heinego-Medina to nasza codzienność, której już nie doceniamy. Zamiast tego obawiamy się możliwych skutków ubocznych – a przecież, zarówno jeśli chodzi o częstotliwość występowania, jak i zagrożenia, to zupełnie inne proporcje ryzyka.

No dobra, porównanie chemii do szczepień jest może nieco kulawe. Bo nie można powiedzieć, że chemia jest mniej niebezpieczna niż korzystna. Chcę tylko przestrzec przed uogólnieniami, o które tak łatwo. Mnie też zdarza się to co rusz, choć w odwrotnym kierunku. Kiedyś chciałam kupić sobie w aptece coś na katar. Aptekarz kazał mi wybierać między dwoma różnymi preparatami, z których jeden był roślinny, a drugi chemiczny. Nie zastanawiając się długo, wybrałam ten chemiczny – przecież chciałam kupić coś porządnego – i przyłapałam się na tym, że ślepo przypisałam chemii lepszą skuteczność, nawet tego nie sprawdzając. Musiałam zganić samą siebie: syntetyczny materiał z laboratorium nie jest z automatu bardziej skuteczny, tak jak materiał pochodzenia roślinnego nie jest automatycznie mniej skuteczny.

Kiedy zdamy sobie sprawę z naszych uprzedzeń i od czasu do czasu surowo spojrzymy na swoje ręce, to zarówno chemię, jak i naturę będziemy mogli traktować bardziej fair i podejmować lepsze decyzje.

Christine trąca mnie i kiwa głową w stronę kasy stołówki. Rzeczywiście – owiraptor, trzymając w dłoniach tacę, drepcze w naszą stronę.

– Oooon należy do cieeebie… – śpiewam cichutko.

– Powinnam go zapytać, czy nie chciałby po prostu się do mnie wprowadzić. – Christine sprawia wrażenie sarkastycznej, ale widzę, że czuje miętę do Dino. – Powinnam też się cieszyć, że już go nie onieśmielasz – dodaje.

– Cały czas jestem tak samo miła.

– Cały czas jestem tak samo dobrą mamą.

Dino patrzy na mnie i uśmiecha się szeroko. A potem kładzie na mojej tacy jabłko. Cóż za zwrot akcji! W myślach słyszę owacje, widzę konfetti, powiewające flagi i banery. Oraz Dino niesionego przez tłum na rękach.

Christine i ja patrzymy rozpromienione na Torbena, a on zaczyna się śmiać.

– Kokon pękł – szepcze moja przyjaciółka.

2 Rodzaj dinozaura – przyp. tłum.

ROZDZIAŁ 8

KOWALENCYJNIE KOMPATYBILNY

King K był właśnie w biurze i mnie opieprzył – mówi Dino swoim niemożliwie opanowanym głosem.

– Co?! – woła Christine. Najwyraźniej naprawdę obudził się w niej instynkt macierzyński. Powoli zaczynam mieć wrażenie, że stosunek: matka–Dino jest inicjowany przez nią. – Czego znowu chciał?

– Powiedział, że musimy usunąć z biura rośliny, bo nie pasują do *corporate identity*.

– Do czego? – pytamy chórem. Czasami cieszę się, że już nie pracuję na uniwersytecie, bo nie wszystko, co się tam dzieje, da się objąć rozumem.

– I co odpowiedziałeś? – zwracam się do Torbena.

– Spytałem, czy mam te rośliny zutylizować natychmiast, tu, na miejscu – odpowiada Dino z niezmąconym spokojem. – Wtedy on trochę się wściekł i powiedział: „Ma pan stopień doktora, więc proszę nie zadawać głupich pytań".

King K widocznie jest człowiekiem, który dawno nie słyszał słowa „nie". I oczywiście nikt mu nie powie, że jego pomysł to jedna wielka bzdura. Tak to właśnie jest, kiedy w hierarchii zajmuje się miejsce na samej górze. Oczywiście wszędzie panuje jakaś hierarchia, ale na uniwersytecie jest ona szczególnie wredna. Bo w koncernie każdy szef ma nad sobą szefa, a zarząd ma na karku akcjonariuszy albo radę zakładową. Za to profesor teoretycznie ma nad sobą tylko Boga. A ponieważ naukowcy przyrodnicy często są ateistami, w ich mniemaniu bezdyskusyjnie znajdują się u szczytu władzy.

Oczywiście jest też wielu sympatycznych profesorek i profesorów. Na przykład nasz promotor był facetem z wielką klasą. Gdyby nie był, Christine prawdopodobnie zarabiałaby mnóstwo pieniędzy w przemyśle, co z kolei byłoby wielką stratą dla nauki. Niestety jest niewielu pracodawców, którzy w świecie umów o pracę zawieranych na czas określony i niesłychanej presji na sukces oferują przynajmniej trochę szacunku i wsparcia. Dowodzi tego wyraźnie poniższy epizod.

W 1996 roku, czyli wtedy, gdy Karen Hanrahan kupiła swojego nieśmiertelnego cheeseburgera, chemik Erick M. Carreira napisał pewien list. Carreira był wówczas profesorem chemii robiącym błyskawiczną karierę na California Institute of Technology, czyli jednym z najbardziej renomowanych uniwersytetów na świecie. Był to prywatny list do Guida, jednego z jego postdoców, ale mimo to szybko został on opublikowany. Chciałabym zamieścić tu ów list, przetłumaczony przeze mnie tak dosłownie, jak to tylko możliwe.

„Guido,

chciałbym w formie pisemnej przekazać Ci, czego oczekuję od Ciebie, jako członka tej grupy badawczej. Oprócz normalnego czasu pracy oczekuję od wszystkich członków grupy badawczej, że będą pracować także wieczorami i w czasie weekendów. Szybko stwierdzisz, że tu, w Caltechu, jest to oczywista norma. W wyjątkowych przypadkach jestem w stanie zrozumieć, że sprawy osobiste także zajmą Ci trochę czasu i że wówczas uchylisz się od obowiązku odpowiedzialności w laboratorium. Nie zaakceptuję jednak, jeśli wejdzie Ci to w nawyk.

Zauważyłem, że w ostatnich kilka weekendów nie było Cię w laboratorium, a ostatnio nie bywasz w nim także wieczorami. Ponadto, oprócz czasu wolnego, poprosiłeś jeszcze o przyznanie Ci urlopu. Ja nie mam problemu z urlopem, który jest jak najbardziej zasłużony, mam jednak problem z ciągłym urlopem i ciągłym czasem wolnym, co negatywnie wpływa na nasz projekt. Uważam, że jest to bardzo niekorzystne dla Twojej kariery.

Oczekuję, że niezwłocznie poprawisz swoje morale jako pracownik.

Każdego dnia otrzymuję przynajmniej jedną aplikację na stanowisko postdoc z USA i z całego świata. Jeśli nie będziesz w stanie pojawiać się tu w oczekiwanym przez mnie czasie pracy, z pewnością znajdę kogoś na twoje miejsce w tak ważnym projekcie.

Z przyjacielskimi pozdrowieniami,
Erick M. Carreira”.

Treść listu spotkała się z oburzeniem, co zrozumiałe, choć trzeba przyznać, że była uczciwa. Bezpośredniość przekazu zaszokowała wielu chemików bardziej niż opisane oczekiwania, które w nauce wcale nie są czymś rzadkim. Znam też inne historie, ale to byłby materiał na kolejną książkę.

Kiedy Carreira pisał ten list, był w podobnej sytuacji jak moja Christine: jako profesor nadzwyczajny był w przełomowym

momencie swojej akademickiej kariery. Dziś jest jednym z najbardziej znanych chemików organicznych świata. Słyszałam też, że jest ponoć całkiem „cool".

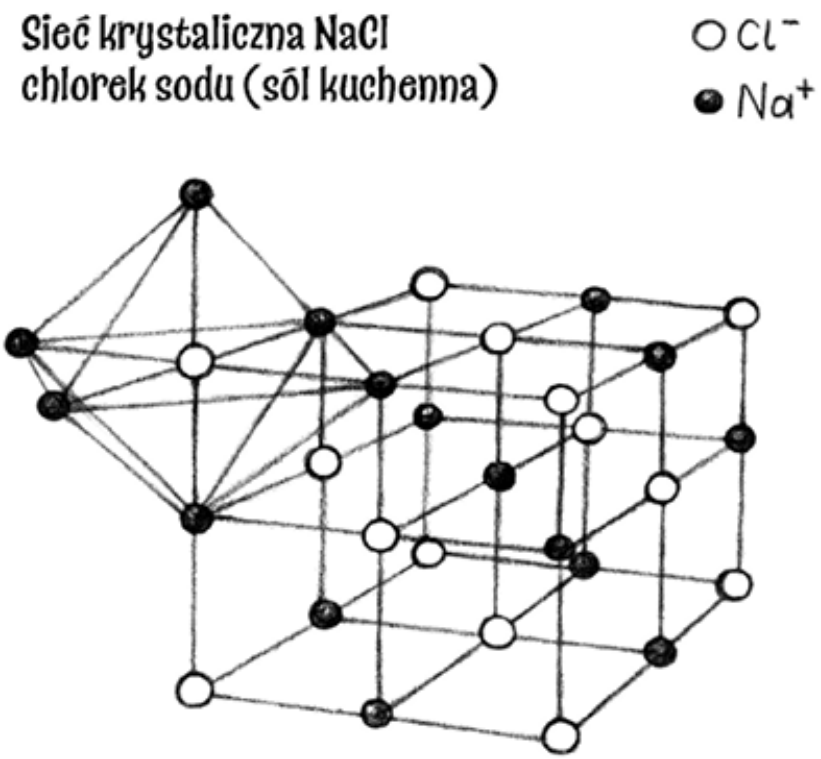
Christine i wielu innych młodych naukowców, których znam, nastraja mnie optymistycznie, jeśli chodzi o przyszłość. Mam tylko nadzieję, że po kilku latach robienia kariery na uniwersytecie nie staną się okrutnikami. Christine regularnie powtarza mi, że jeśli zauważę, że traktuje swoich studentów nieludzko, mogę, nie – muszę – dać jej potężnego prztyczka w nos.

Stosunki międzyludzkie są najważniejsze. To dokładnie tak jak w chemii: atom i pierwiastki – jeden dla drugiego – są fascynujące. Ale naprawdę ciekawie robi się dopiero wtedy, kiedy atomy się łączą, tworząc molekuły i wchodząc między sobą w reakcje. Niektóre związki chemiczne są podobne do związków międzyludzkich. W kręgu naszych przyjaciół jest pewna nierozłączna para, którą nazywamy „Stefankami" – od ich imion: Stefania i Stefan. Brzmi wręcz obrzydliwie harmonijnie, ale, o ironio, w życiu jest dokładnie odwrotnie. Można powiedzieć, że Stefanki kłócą się non stop, choć dokładnie rzecz biorąc, kłóci się tylko Stefania, podczas gdy Stefan milczy. Ich związek sprawia wrażenie bardzo nieproporcjonalnego, bo Stefania jest ekstremalnie dominująca, a Stefan totalnie ustępliwy. Christine jest zdania, że Stefan na tym cierpi. Ja przypuszczam, że właśnie tak lubi i wcale nie chciałby, żeby było inaczej. Są razem już długo i – jak sądzę – na swój sposób są szczęśliwi. Christine określiłaby związek Stefanków jako metastabilny. Osobiście nazwałabym go związkiem jonowym.

Istnieją trzy różne rodzaje wiązań chemicznych, a raczej trzy rodzaje, które opłaca się znać: wiązanie jonowe, wiązanie atomowe, zwane też kowalencyjnym, oraz wiązanie metaliczne. Materia, poprzez którą łączą się dwa atomy, zawsze jest taka sama: są nią elektrony. **Wiązania chemiczne powstają w efekcie oddziaływania elektronów.** Dokładniej rzecz biorąc, są to elektrony zewnętrzne, które w wiązaniu chemicznym rozkładają się pomiędzy atomami, co prawdopodobnie zrozumiecie po przeczytaniu

rozdziału 2. To, dlaczego w ogóle atomy łączą się ze sobą, wyjaśnia na przykład reguła oktetu. Jednak to, jaki rodzaj wiązania powstaje, jest związane z tym, jak dokładnie podzielone są atomy pomiędzy partnerami wiązania. **Wiązanie jonów czy też wiązanie jonowe polega na tym, że partner wiązania daje drugiemu jeden elektron**. Może to być więcej elektronów, odpowiednio do tego, jakie potrzeby pojawiły się w efekcie działania reguły oktetu. Wiemy to już z fragmentu o fluorku sodu w paście do zębów albo chlorku sodu, czyli soli kuchennej. Powstają ładunki ujemne i dodatnie, kationy i aniony, które wzajemnie się przyciągają. To samo dzieje się w związkach, w które wchodzimy my, ludzie. Tam przecież też działa zasada przyciągania się przeciwieństw. I *voilà* – mamy wiązanie jonowe!

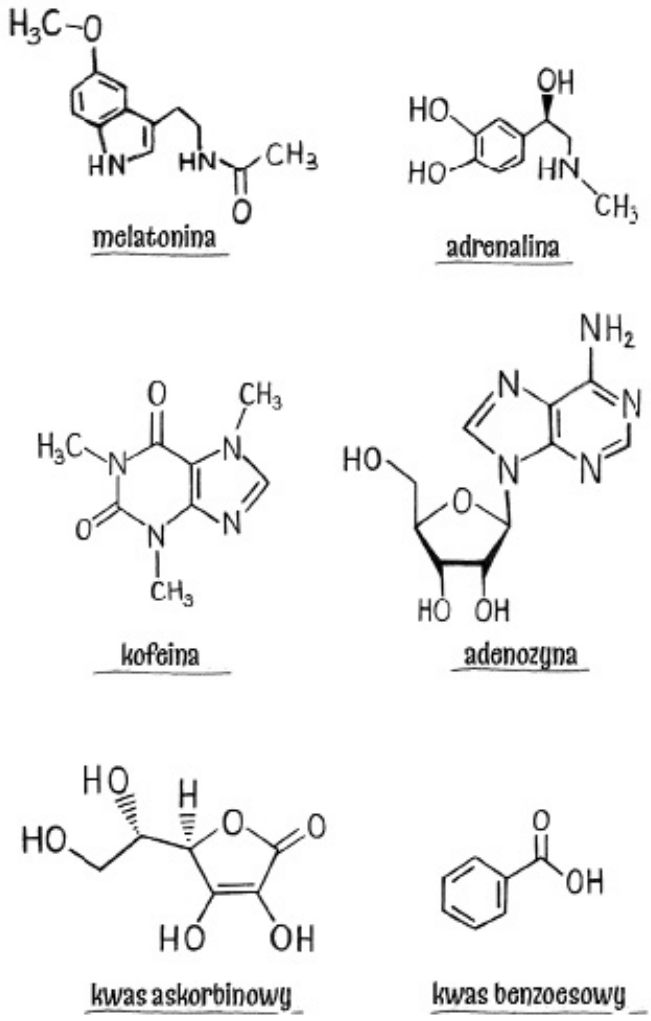
W przeciwieństwie do Stefanków nie można sobie wyobrażać wiązania jonowego chlorku sodu jako parki składającej się z sodu i chloru. Przyciąganie elektrostatyczne między dodatnim sodem i ujemnym chlorkiem działa radialnie we wszystkich kierunkach, wychodząc od każdego jonu. Każdy jon sodu otacza się trójwymiarowo jonami chlorku i odwrotnie. Prowadzi to do powstania uporządkowanej, trójwymiarowej struktury, tzw. jonowej sieci krystalicznej. W przypadku soli kuchennej sieć ta wygląda następująco:



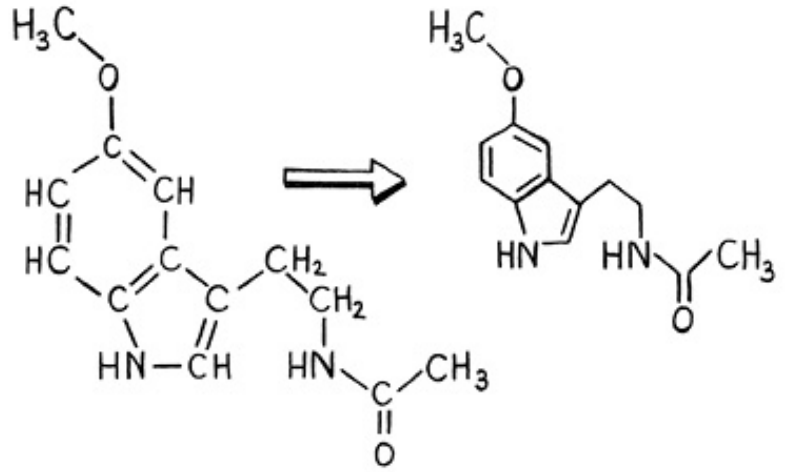
„Przykładne małżeństwo” – tak nazwałam taki związek w rozdziale 2, ale może nie jest to całkiem słuszna nazwa. Wiązanie jonowe jest bowiem związkiem nierównym, w którym jedno daje, a drugie zabiera. Mimo to jest to związek szczęśliwy. Jak u Stefanków. Bo jedno z nich nie chce niczego innego, niż dawać, a drugie nie chce niczego innego, niż brać (całkiem podobnie jest w reakcjach typu redoks z rozdziału 6). Taką chemiczną zasadę wiązania można też porównać do innego związku międzyludzkiego: moim zdaniem związek Christine i Torbena typu mama–Dino jest związkiem dosyć jonowym.

Przyjrzyjmy się teraz innemu rodzajowi wiązania, które bardziej pasuje do mnie i Christine. W rozdziale 2 było to wiązanie między węglem i fluorem w teflonie. Wiązania organiczne, to znaczy takie, które zawierają węgiel, są predestynowane dla tzw. **wiązań atomowych**, zwanych też **kowalencyjnymi**. Osobiście wolę określenie „wiązanie kowalencyjne”, bo „wiązanie atomowe” jest dla

mnie mniej precyzyjne. Bo czyż nie wszystkie wiązania są wiązaniami pomiędzy atomami? Kowalencyjni partnerzy wiązania dzielą między siebie elektrony, zamiast tego, że jeden daje, a drugi zabiera. Wiązania te podtrzymywane są przez wspólne elektrony, a nie przez elektrostatyczne przyciąganie między ładunkami. Zetknęliście się już w tej książce z niektórymi wiązaniami kowalencyjnymi:



Każda kreska oznacza tu wiązanie kowalencyjne. A każdy kąt, który nie jest opisany inaczej, oznacza atom węgla. Ponieważ nasze życie jest dalece zdominowane przez węgiel, większość molekuł zawiera tak dużo jego atomów, że oszczędzono sobie dopisywania wszędzie „C” (albo CH, CH2, CH3):



Uproszczone przedstawienie chemicznych struktur na przykładzie melatoniny

Fakt, że węgiel jest mistrzem w tworzeniu wiązań kowalencyjnych, to jeden z powodów, dla których życie bazuje na węglu. Bo w przeciwieństwie do wiązania jonowego wiązanie kowalencyjne nie rozchodzi się radialnie we wszystkich kierunkach, lecz kierunek i kąt między dwoma wiązaniami są określone. Dlatego z wiązaniami kowalencyjnymi można budować o wiele bardziej zmyślne struktury niż z wiązaniami jonowymi, jak na przykład nasze DNA, olbrzymie, skomplikowane proteiny albo właśnie wszystkie te molekuły, o których czytacie w tej książce. Ale też proste, małe cząsteczki, jak nasze molekuły gazu, funkcjonują tylko na bazie wiązań kowalencyjnych, podczas kiedy wiązania jonowe tworzą ogromne struktury krystaliczne.

Przejście między wiązaniami jonowymi i kowalencyjnymi jest płynne. Nie w każdym wiązaniu kowalencyjnym obaj partnerzy są równouprawnieni; także w czasie dzielenia się elektronami jeden partner wiązania może zażądać dla siebie większej liczby elektronów niż drugi. To, na ile fair są rozdzielone elektrony, zależy od tego, na ile różni są partnerzy wiązania w swojej tzw. elektroujemności. **Elektroujemność** to zdolność pierwiastka w zakresie przyciągania do siebie elektronów w pojedynczym wiązaniu. W wiązaniu między dwoma takimi samymi atomami klasycznie są to dwa atomy węgla,

wiązanie jest bardzo sprawiedliwe i wyrównane. Ale już w molekule wody (H2O) atom tlenu (O) jest bardziej elektroujemny niż atomy wodoru (H) i dlatego mocniej przyciąga do siebie uwspólnione w wiązaniu elektrony. Wprawdzie nie czyni to od razu wody bardziej jonową, ale w atomie tlenu dochodzi do większej **gęstości elektronowej** niż w atomach wodoru. W efekcie powstaje tzw. **polarność** – podobnie jak w biegunie dodatnim i ujemnym baterii, także w molekule wody, choć w nieco mniejszym stopniu, zachodzi rozdzielność ładunków. Mawia się też, że atom tlenu ma **ujemny ładunek częściowy**, zaś atomy wodoru mają **dodatni ładunek częściowy.** Można powiedzieć, że jest **to kowalencyjne wiązanie z „jonowym dotknięciem".** Zwie się je także **spolaryzowanym wiązaniem atomowym** lub **wiązaniem kowalencyjnym spolaryzowanym.**

Jeśli elektroujemności są ekstremalnie różne, jeden z partnerów wiązania przyciąga do siebie komplet elektronów i otrzymujemy wiązanie jonowe.

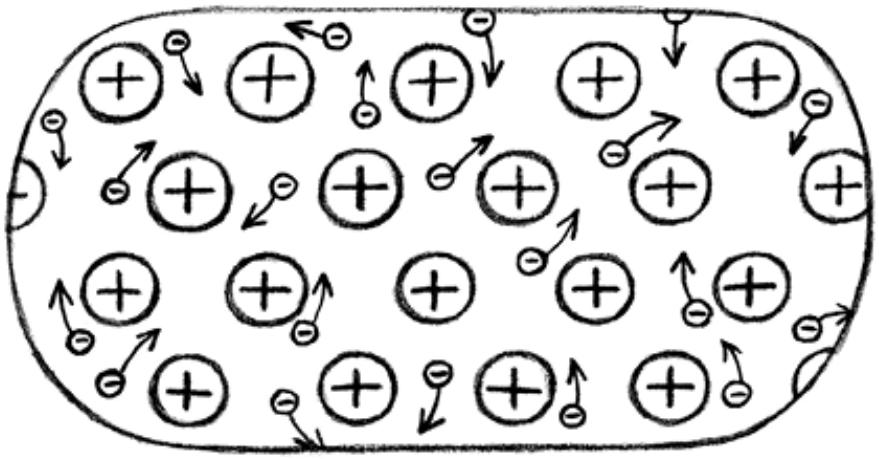
Żartuję oczywiście, dzieląc stosunki międzyludzkie na wiązania jonowe i kowalencyjne. Niektórzy szukają u swoich partnerów i przyjaciół przeciwnego bieguna – ja raczej jestem typem kowalencyjnym. Uważam, że moje małżeństwo jest małżeństwem bardzo kowalencyjnym. Także przyjaciół wyszukuję sobie w taki sposób, aby byli ze mną możliwie jak najbardziej kowalencyjni i kompatybilni. Niektórym może się to wydać nudne, ale ma to swoje zalety. Kiedy Christine organizowała mój wieczór panieński, przyszło kilka moich przyjaciółek, które nawzajem się nie znały. Christine była zdumiona i zachwycona, że wieczór przebiegł bez żadnych komplikacji i był pełen harmonii. Przyczyną musi być moja preferencja kowalencyjnych przyjaźni.

Istnieją także **wiązania metaliczne**, które same w sobie stanowią osobliwość. Dzięki nim całością jest sztabka złota albo żelazny gwóźdź. I oczywiście łyżka z rozdziału 1, w którym wyobrażaliśmy

sobie wiązanie metaliczne jako rusztowanie do ćwiczeń wspinaczkowych. Ale teraz jesteście już gotowi na coś więcej, prawda?

Pierwiastki chemiczne można podzielić na metale i niemetale, przy czym około czterech piątych pierwiastków w układzie okresowym to metale. Ich wspólną cechą jest ciekawy rodzaj wiązania, które można opisać za pomocą tzw. modelu gazu elektronowego: tu elektrony zewnętrzne nie są trwale związane i nie można ich przyporządkować pojedynczym atomom. Poruszają się względnie dowolnie wewnątrz metalu, podobnie jak molekuły wewnątrz gazu. Dlatego taką niesforną wspólnotę elektronów zwiemy też **gazem elektronowym.**

Podobnie jak w wiązaniu kowalencyjnym wiązanie metaliczne polega więc na podzielonych elektronach, choć w metalu wszystko odbywa się niczym w komunie – wszyscy dzielą się wszystkim.



Model gazu elektronowego

Kiedy atomy metalu uwalniają swoje elektrony zewnętrzne i mogą się dowolnie poruszać, są one naładowane dodatnio. Jako dodatnio naładowane **rdzenie atomów** tworzą rusztowanie atomowe metalu, tzw. **sieć metaliczną**. Dodatnio naładowane rdzenie atomów oraz elektrony gazu elektronowego przyciągają się wzajemnie, podobnie jak kationy i aniony w sieci jonowej. Ale

ponieważ elektrony mogą się poruszać, sieć metalu nie jest tak sztywna jak sieć jonowa. I to właśnie wyznacza cechy metalu.

Metale mają trzy charakterystyczne właściwości, które wynikają z tego rodzaju wiązania gazu elektronowego.

1. Przewodzą prąd elektryczny.

Prąd elektryczny to nic innego jak przepływające elektrony. A elektrony jako gaz elektronowy potrafią przepływać znakomicie. Jeśli połączyć metalowy drut z baterią, to po jednej stronie do jego środka po prostu przedostają się elektrony, które po drugiej stronie są wyciągane.

2. Są dobrymi przewodnikami ciepła.

W tym miejscu wracamy do rozdziału 1 i do pytania, dlaczego mamy wrażenie, że metalowa łyżka jest chłodniejsza niż blat drewnianego stołu. Jeśli przewodzenie ciepła nie jest niczym innym jak przenoszeniem energii ruchu między cząsteczkami, to oczywiście odbywa się to zwłaszcza wtedy, gdy cząsteczki mogą się poruszać jak najbardziej dowolnie i jak najczęściej o siebie uderzać. Wraz z każdym uderzeniem wewnątrz gazu elektronowego energia jest przenoszona z jednego elektronu na drugi. Natomiast drewno składa się z wiązań kowalencyjnych – patrząc od strony molekularnej, jest więc o wiele bardziej sztywne, a co za tym idzie, jest złym przewodnikiem ciepła.

3. Dają się łatwo formować.

Nie mam na myśli tego, że metale są miękkie. Twardość to zupełnie inna para kaloszy niż kowalność. Metalowy drut jest jednocześnie twardy i odkształcalny. Weźmy do ręki pręt z drewna lub szkła i spróbujmy go wygiąć. Złamie się bardzo szybko – bo oba materiały są kruche. Za to pręt metalowy daje się łatwo formować, ponieważ zręby atomowe, które tworzą zasadniczą sieć metalu, nie są trwale przywiązane do swoich miejsc. Prześlizgują się płynnie obok siebie w miękkim otoczeniu gazu elektronowego, w efekcie czego metal można kuć, uderzać młotem, a on nie pęka.

Fascynujący jest dla mnie fakt, że właściwości fizyczne lub biologiczne wynikają ze struktury chemicznej materiału. To przecież genialne! Jeszcze wspanialsze jest to, że dzięki zrozumieniu tej zależności można samemu wyprodukować molekuły i materiały

o określonych cechach. I jak można nie uważać chemii za genialną naukę? Nigdy tego nie zrozumiem.

– O nie… – mówi Christine, patrząc na ekran swojej komórki.

– Co takiego? – pytam.

– Young Tesla odmówił. Przechodzi do Kinga K. – Moja przyjaciółka jest wyraźnie przybita.

Young Tesla to młody człowiek, który starał się o to, aby pisać swoją pracę doktorską u Christine i który ponoć wygląda jak młody Nikola Tesla. Jest chyba bardzo dobrym studentem i w czasie wstępnej rozmowy z Christine zrobił na niej bardzo obiecujące wrażenie. Grupa badawcza Christine jest bardzo mała, ale moja przyjaciółka ma nosa, jeśli chodzi o dobór ludzi. Są dobrymi naukowcami i potrafią pracować w zespole, a ta kombinacja jest dla niej ważna. Atmosfera w grupie musi być konstruktywna i motywująca, dlatego też Christine odmówiła kiedyś dziewczynie starającej się o przyjęcie. Była przekonującym fachowcem, ale od strony ludzkiej nie pasowała do grupy. Young Tesla z pewnością odnalazłby się u Christine, ale jej grupa jest konkurencyjna wobec ośmiu pozostałych grup badawczych w instytucie. A większość chętnych chce pracować u Kinga K, ponieważ jest kierownikiem i profesorem o najbardziej renomowanym nazwisku. To jasne, że tzw. grupa juniorska stanowi pewne ryzyko – nigdy nie wiadomo, czy odniesie sukces, a jeśli tak, to jaki. A ponieważ profesorowie juniorzy, tacy jak Christine, sami pracują pod silną presją, istnieje ryzyko zniewolenia – patrz przypadek Carreiry. W każdym razie Tesla wkrótce pożałuje swojej decyzji, jestem tego pewna.

– Teraz przez trzy lata będę musiała patrzeć, jak King K go wykańcza – mówi Christine.

Obejmuję ją ramieniem.

– Podły dzień, co?

– Hmmm…

Dino też patrzy na nią z przygnębieniem.

– Wpadnij dziś do mnie – proponuję. – Ugotuję coś dobrego.

Christine się waha. Prawdopodobnie ma teraz w głowie tylko jedno: pracować jeszcze więcej i ciężej, aby szybciej odnieść sukces i nie musieć tracić wartościowych ludzi na rzecz Kinga K. Kto w takiej sytuacji ma czas na kolację?

– Wiecie co? – Nagle wpadam na genialny pomysł. – Wpadniecie dziś do mnie oboje. O dziewiętnastej. I żadnych sprzeciwów.

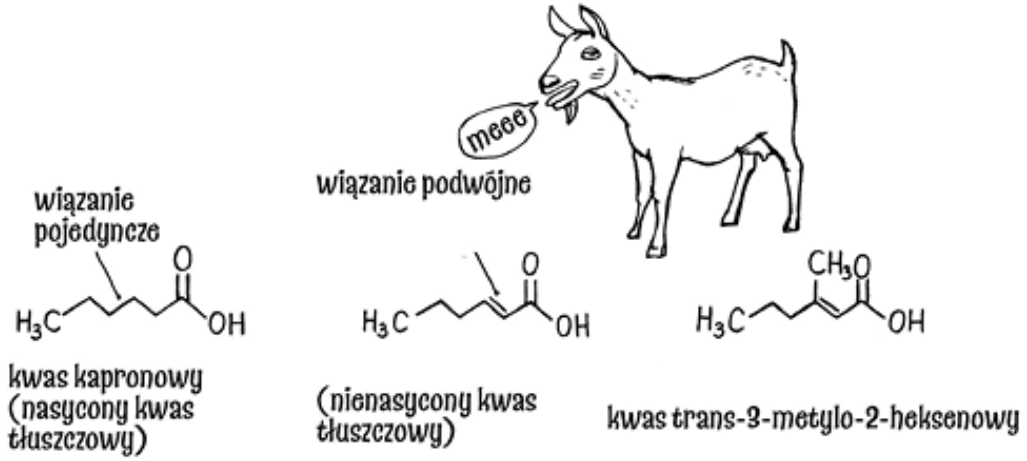
ROZDZIAŁ 9

TAK ŚMIERDZI CHEMIA

Wysiadam dwa przystanki wcześniej, bo nie mogę już znieść tego smrodu. Z początku nie chciałam uwierzyć, że dusząca woń potu płynie w moją stronę od (wizualnie) atrakcyjnego mężczyzny obok mnie. Ale gdy wysiadałam, mogłam już jednoznacznie zidentyfikować źródło smrodu: typ śmierdział TMHS, czyli kwasem trans-3-metylo-2-heksenowym. Kwas ów spokrewniony jest

z kwasem kapronowym, nazwanym tak od łacińskiego słowa *capra*, znaczącego tyle co „koza” i… śmierdzi właśnie kozą.

Kwas kapronowy to tzw. **nasycony kwas tłuszczowy**, co oznacza, że łańcuch węglowy zawiera tylko wiązania pojedyncze, a nie podwójne. Jeśli w kwasie kapronowym wystąpi wiązanie podwójne, otrzymamy tzw. nienasycony kwas tłuszczowy, a jeśli do wiązania podwójnego dołączy się grupę metylową, otrzymamy cudowną molekułę TMHS, która zapewnia nam charakterystyczną kozią woń potu.



Pomyślicie, że to obrzydliwe, i pewnie wolelibyście dowiedzieć się więcej o tłuszczach nasyconych i nienasyconych, ale tym zajmiemy się w czasie kolacji. Na razie możemy pomówić o śmierdzących molekułach, które sama niezbyt chętnie wącham, ale mimo to są dla mnie fascynujące.

Woń przypisać należy **molekułom lotnym**, przy czym „lotne” znaczy tyle co „łatwo parujące”. Jeśli więc czuję coś nieprzyjemnego, to tylko dlatego, że owe molekuły doleciały – w dosłownym znaczeniu tego słowa – do wnętrza mojego nosa. Jeśli chodzi o typa z autobusu, część jego potu spod pach rzeczywiście dotarła do mojego nosa. Wiem, rzeczywistość nie zawsze jest łatwa do zniesienia.

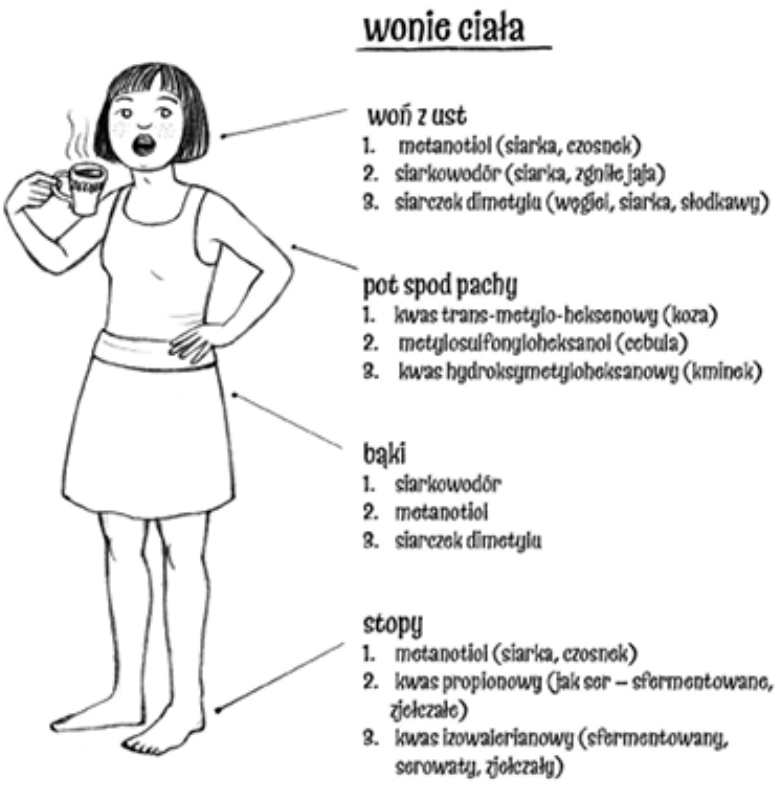
Chemia organiczna jest związana z intensywnymi woniami. Najcudowniejsze składniki aromatów i smaków to molekuły

organiczne. Ale to także składniki najgorszych smrodów. Na studiach chemia organiczna nazywana jest skrótem OC. Te dwie litery u jednych wywołują zachwyt, u innych przerażenie. Najpierw w OC trzeba się dużo uczyć na pamięć. Kiedyś rysowałam sobie w domu organiczne wzory strukturalne, na co mój współlokator zawołał:

– To jakieś ekstremum, że wiesz, jak to wszystko wygląda!

Mówiąc „ekstremum", miał na myśli to, że jestem w stanie to zapamiętać. Ale to rzeczywiście fascynujące, że wiemy, jak wyglądają struktury chemiczne, chociaż przecież nie możemy ich zobaczyć. To jest właśnie wspaniałe w chemii. Obok teorii mniej więcej połowa czasu studiów chemicznych obejmuje praktyki w laboratorium. Chemicy zwą tę pracę **praktykami**, co w rozmowach z niechemikami czasem prowadzi do nieporozumień. Praktyki OC sprawiły, że niejeden student chemii zadał sobie pytanie o sens – nie tylko wyboru tego kierunku studiów, ale też o sens życia w ogóle. Ale przecież to cholernie ciekawe zajęcia.

W chemii organicznej chodzi przede wszystkim o „gotowanie", jak mawia chemik – o syntezę, czyli produkowanie nowych molekuł od zera. To dość szalone uczucie gotować, czyli produkować własnymi rękami cząsteczki, których nie można zobaczyć – ani gołym okiem, ani przez najlepszy mikroskop świata. Człowiek czuje się trochę jak czarodziej. Ale praktyki OC są też niesłychanie wyczerpujące. Poza tym wiążą się z bardzo charakterystyczną wonią. Każdy chemik w nieznanym mu miejscu uniwersytetu chemii organicznej, kierując się wonią, bez wahania znajdzie drogę do laboratorium, w którym mają miejsce praktyki OC. Nie jest to przyjemna woń. Zawsze się wstydziłam, kiedy po praktykach OC musiałam jechać w przepełnionym autobusie do domu i obdzielać swoim smrodem współpasażerów. Ale molekuła potu TMHS jest cząsteczką organiczną i wszyscy wiemy, że nie jest to jedyna śmierdząca molekuła typowa dla nas, ludzi. Na sąsiedniej stronie mały wybór:



Zanim pomyślicie, że to śmieszne, i zaczniecie beztrosko czytać dalej, proszę, abyście się zastanowili, skąd to wszystko wiemy. Czy sądzicie, że chemiczny skład bąka opracowaliśmy teoretycznie? Nie! Ustalono to w drodze eksperymentów.

Jest pewne szczególnie zabawne badanie, o którym pragnę wam powiedzieć. W 1998 roku naukowcy z Minneapolis badali bąki 16 kobiet i mężczyzn, aby zidentyfikować składniki smrodu. Uczestnicy badań nie musieli niczego specjalnego robić – tylko pierdzieć do rurek. Ale – jak to zwykle bywa – w badaniach naukowych nie można się zdawać na przypadek. Dlatego posiłek uczestników wieczorem przed eksperymentem i rankiem w dniu badań uzupełniono o 200 g fasoli, a także 15 g preparatu o nazwie Lactulose (laktuloza) – to cukier działający probiotycznie, rozkładany przez bakterie znajdujące się w jelitach w trakcie powstawania gazu.

Godna uwagi była głównie analiza. Obok zwyczajowych metod, jak chromatografia gazowa, w badaniach wzięło udział dwóch jurorów od woni, których zadaniem było ocenić, na ile niemiłe są owe zapachy. Dlaczego tylko dwóch? Cóż, znajdźcie ludzi, którzy chcieliby

wąchać bąki w imię nauki. Poza tym tu potrzebny był wrażliwy nos. Obaj jurorzy od woni w uprzednio wykonanych testach udowodnili, że potrafią dobrze ocenić różne smrody zarówno pod względem ilościowym (jak silna jest dana woń), jak i jakościowym (jak różnią się dane wonie). Musieli ocenić różne próbki zapachów w skali od 0 (bezzapachowe) do 8 (wstrętne). Poza tym musieli precyzyjnie opisać próbki pod względem woni: siarkowa/zgniła/słodkawa. Zwykłe „wstrętna" oczywiście nie było właściwe.

W większej części bąki składają się z bezwonnych gazów jak wodór, azot i CO2, ale wśród gazów śmierdzących, jak uznali badacze, największy udział miał siarkowodór (przypomina woń zgniłych jaj), potem metanotiol (przypomina woń zepsutych warzyw) i siarczek dimetylu (woń słodkawa, ale bardzo nieprzyjemna).

Co się robi z taką wiedzą? Cóż, nie każde badanie musi od razu służyć do praktycznych celów, ale każde ma swoje uzasadnienie. Istotą nauki jest przede wszystkim lepsze rozumienie świata, a częścią świata jest… puszczanie bąków. Ale uwaga – teraz będzie naprawdę wesoło.

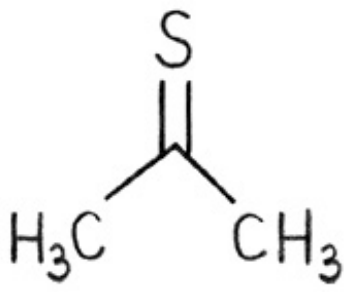
W kolejnym eksperymencie uczestników ubrano w spodnie z materiału nieprzepuszczającego powietrza, które dodatkowo oklejono pancerną taśmą na udach i biodrach. Aby się upewnić, że ze spodni nie wymknie się żaden gaz, uczestników wsadzono do wody – jak dziurawe opony rowerowe – aby sprawdzić, czy nie widać gdzieś wydobywających się pęcherzyków. Zostali też „okablowani" wężykami, aby bez żadnych strat wyprowadzić ze spodni gaz w celu dokonania analizy. Dodatkowo w spodniach tkwiły poduszki z pianki, których powierzchnie pokryto węglem aktywowanym, absorbującym cząsteczki zawierające siarkę. I tak badacze sprawdzili, ile molekuł smrodu mogła wychwycić poduszka z węglem aktywowanym w spodniach i na ile łagodziła ona ów smród. Była tam nawet jedna poduszka placebo, w której aktywny węgiel pokryty był szczelną warstwą plastiku. Od strony metodycznej wszystko było więc przeprowadzone bardzo starannie.

I co się okazało? Ze spodni z poduszką z warstwą węgla aktywowanego wydobyło się o wiele mniej smrodu. Czyli poduszka „antybąkowa" absorbowała ponad 90% gazów zawierających siarkę.

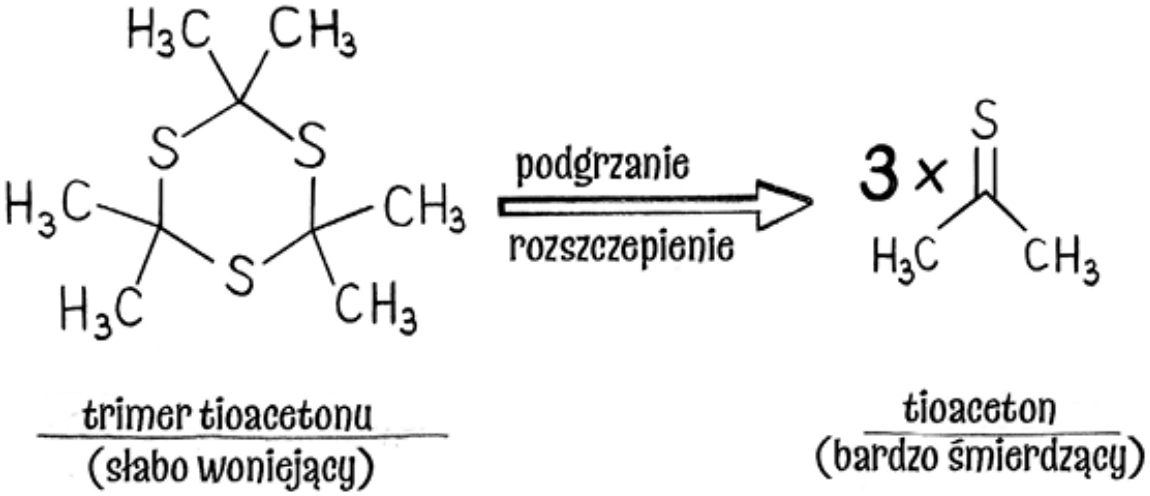
Trzeba jednak dodać, że – i teraz będzie najweselej – rozmiary poduszki wynosiły 43,5 x 38 x 2,5, czyli była to niemal poducha do spania!

Jeśli podobny „filtr” musiałby mieć tak ogromne rozmiary, nic dziwnego, że taki produkt nie opanował jeszcze rynku. Ale takie właśnie są badania naukowe. Między sukcesem obiecujących wyników badań a ich praktycznym zastosowaniem często istnieje przepaść.

Na szczęście najbardziej śmierdząca molekuła świata nie występuje w naturze. Nazywa się tioaceton i wygląda naprawdę niewinnie:



Tioaceton w tej formie niełatwo jednak otrzymać. Zamiast tego można wyprodukować tzw. trimer, który składa się z trzech molekuł tioacetonu. Te z kolei łączą się w cykliczną strukturę. Jeśli ów trimer podgrzejemy, rozszczepi się on i wówczas można wyodrębnić tioaceton.



trimer tioacetonu (słabo woniejący)

tioaceton (bardzo śmierdzący)

Ale czy tego chcemy? Pierwsi chemicy, którzy tego dokonali, pochodzili z Freiburga. Opisali swój eksperyment z roku 1889 w następujący sposób:

„Kiedy wreszcie świeżo otrzymany produkt reakcji został wydestylowany (…), po starannym schłodzeniu za pomocą pary jego woń w krótkim czasie rozprzestrzeniła się na odległość 3 do 4 km, sięgając aż do daleko położonych części miasta. Mieszkańcy ulic sąsiadujących z laboratorium skarżyli się, że woniejąca substancja spowodowała u niektórych osób utratę przytomności, mdłości i wymioty".

Po czym można poznać prawdziwego naukowca? Nawet najgorszy smród nie powstrzyma go przed zaspokojeniem ciekawości. Jedynie szturm skarg skłonił naszych chemików do zaprzestania prób. A przecież nie obiecywali sobie wynalezienia jakiegoś szczególnego

zastosowania śmierdzącej molekuły (broń?). To była po prostu jedna molekuła, której wyizolowanie było ekstremalnie trudne – i to właśnie był powód, aby tego spróbować! Nauka to przekraczanie granic.

Przykład chemików z Freiburga dowodzi, że chemicy organiczni są najbardziej szaleni wśród chemików. Tak przynajmniej uważam. Ale też najciężej pracują. Mój tata jest z wykształcenia chemikiem organicznym, choć z czasem zaangażował się w chemię polimerów. W swojej pracy doktorskiej zajmował się na szczęście miło woniejącymi substancjami, m.in. aromatem świeżo pieczonych bułeczek. Wracał do domu, pachnąc całkiem miło, co bardzo lubi wspominać moja mama. Mój mąż także jest chemikiem organicznym, ale czasu, kiedy pisał swoją pracę doktorską, bynajmniej nie wspominam z radością. Biurko Matthiasa znajdowało się w laboratorium, a nie w jakimś oddzielnym pomieszczeniu. U mnie co prawda było podobnie, ale pisząc swoją pracę doktorską, świadomie zdecydowałam się na możliwie nietoksyczny zakres badań. Za to Matthias każdego dnia siedział w laboratorium wraz z pięcioma innymi chemikami organicznymi, którzy bez przerwy gotowali trujące substancje i tkwili w ich oparach. W laboratorium, co prawda, pracuje się pod wyciągiem – czymś w rodzaju wielkiego, bardzo wydajnego okapu z wentylatorem, jednak mimo wszystko nie da się całkowicie uniknąć kontaktu z różnymi substancjami. W domu mieliśmy więc specjalną skrzynkę na te ubrania Matthiasa, które zakładał do laboratorium. Po pracy musiał najpierw wszystko zdjąć i wziąć prysznic – nie zbliżałam się do niego, jeśli tego nie zrobił. Niemal codziennie po powrocie do domu woniał OC. Jeśli ja czułam to w domu, to co on musiał wąchać i wdychać w pracy? Wszystko to naprawdę mnie wkurzało – byłam wkurzona na jego szefa, na cały instytut chemii organicznej i na cały uniwersytet. Jak to możliwe, że w takim kraju jak Niemcy doktoranci chemicy w niektórych instytutach nie mają do dyspozycji pomieszczeń oddzielonych od laboratorium?

W przyrodzie smród jest sygnałem do ucieczki. Na przykład wonie wydzielin naszego ciała uznajemy za odpychające i trzymamy się od nich jak najdalej, pomni tego, że mogą się za nimi kryć chorobotwórcze zarazki. Ale nie wszystko to, co śmierdzące, jest również szkodliwe – tak jak nie wszystko, co szkodliwe, śmierdzi. Byłoby to bardzo praktyczne, jednak nie zawsze substancje szkodliwe zwracają na siebie uwagę.

Kiedy zaczynałam studia na wydziale chemii, odczuwałam ogromny respekt wobec kwasów. Jeden z pierwszych eksperymentów, który przeprowadza się w czasie studiów, to tzw. miareczkowanie alkacymetryczne, w którym operuje się kwasem solnym. Wszyscy robiliśmy w spodnie ze strachu przed poparzeniem. Ale człowiek bardzo szybko się do tego przyzwyczaja i z czasem w laboratorium każdy pracuje coraz pewniej i sprawniej. W końcu zaczynamy wręcz odczuwać wdzięczność wobec kwasów, bo jak tylko kropla któregoś spadnie nam na rękę, od razu to zauważamy i możemy szybko przedsięwziąć odpowiednie kroki. Najbardziej ohydne chemikalia to te, których działania wcale nie zauważasz, tymczasem po latach mogą nawet spowodować raka.

Jeden z najbardziej spektakularnych eksperymentów, który w czasie praktyk OC miał nas nauczyć zachowania czystości w pracy, to synteza barwnika o nazwie „fiolet krystaliczny". To coś pięknego! W wyniku eksperymentu przyjmuje on formę metalicznie błyszczących kryształków w kształcie igieł i złotobrązowy kolor. Jego nazwa okazuje się trafna, dopiero gdy owe kryształy rozpuścimy w wodzie lub innych rozpuszczalnikach spolaryzowanych. Wystarczą niewielkie ilości, aby otrzymać intensywne, niebieskofioletowe zabarwienie. Właściwy efekt dydaktyczny tego eksperymentu nie polega jednak na wyprodukowaniu barwnika, lecz na dokładnym oczyszczeniu po zakończeniu wszystkich użytych narzędzi i naczyń w laboratorium. Szorowaliśmy i szorowaliśmy, a wszystko i tak robiło się fioletowe. Po tym widzieliśmy, jak silnie jakaś substancja może zabrudzić fartuch ochronny albo wyciąg. Ten eksperyment musieliśmy przeprowadzić na początku studiów, kiedy nie byliśmy jeszcze odpowiednio biegli w technice laboratoryjnej, a tego liliowego świństwa było wszędzie pełno. Całe tygodnie później

w zakamarkach laboratoryjnego wyciągu dostrzegaliśmy jeszcze fioletowe ślady. Przypominało mi się to zawsze, gdy pracowałam z toksycznymi, ale bezbarwnymi substancjami.

Trochę brakuje mi laboratorium. Kiedy jestem u Christine, dopada mnie nostalgia. Moja przyjaciółka wtedy się denerwuje i mówi, żebym nie była taka sentymentalna. Teraz jednak, gdy spaceruję sobie w moich sandałach i wystawiam twarz ku słońcu, cieszę się, że już nie pracuję w laboratorium. Prawie nigdy nie miałam ferii semestralnych, bo w tym okresie, kiedy nie było wykładów, mieliśmy praktyki. W czasie pisania pracy doktorskiej też praktycznie nie miałam wolnego czasu. Przez dziewięć lat prawie każde wakacje spędzałam w laboratorium, oczywiście w długich spodniach, pełnych butach i fartuchu. Czasami było tak gorąco, że pot zalewał mi okulary ochronne. Tego z pewnością mi nie brakuje.

Jesteśmy stworzeni do życia w wysokich temperaturach, skoro możemy się tak intensywnie pocić. Pomijając śmierdzące molekuły, pot składa się w większości z wody, a owa woda, jak to woda, może wyparować. Ta zmiana stanu skupienia nie odbywa się sama z siebie: molekuły wody, które w swojej ciekłej formie wzajemnie się przyciągają i trzymają jedna drugiej, muszą najpierw się rozdzielić. W tym celu potrzebna jest energia, powstała na przykład przez podgrzanie. Aby więc mógł wyparować, pot może pobrać ową energię z naszego ciepłego ciała – i tak właśnie robi. Odbiera więc nam ciepło, które jest mu potrzebne do parowania, a przez to aktywnie schładza nasze ciało.

Patrząc na to w ten sposób, można uznać za głupie używanie antyperspirantów. Nie zrozumcie mnie źle – absolutnie popieram dezodoranty i nie lubię być zmuszana do tego, aby wysiadać z autobusu dwa przystanki wcześniej tylko dlatego, że ktoś nie kontroluje swojego kwasu trans-3-metylo-2-heksenowego. Ale dezodoranty i antyperspiranty to dwie różne rzeczy.

Dezodoranty jedynie zwalczają smród. Zawierają składniki antybakteryjne, jak na przykład alkohol. Bo pot sam z siebie w ogóle nie śmierdzi. Kwas trans-3-metylo-2-heksenowy i spółka są jedynie produktami przemiany materii bakterii. No i znów te bakterie! Jeśli chcemy, możemy ludzi, czyli samych siebie, traktować jedynie jako żywe ekosystemy dla bakterii. To właściwie owe maleńkie jednokomórkowce są stworzeniami, które dominują na naszej planecie – i robią to bardzo zgrabnie, na przykład niepostrzeżenie przedostając się do naszych pach. Jeśli tylko z porów naszego ciała wydobędzie się bezwonny pot, jest on natychmiast pochłaniany przez bakterie, które następnie wydzielają śmierdzące molekuły. Antybakteryjne składniki dezodorantu utrudniają życie owym bakteriom, a wraz z odrobiną perfum sprawiają, że podróż autobusem może być przyjemna dla wszystkich pasażerów.

Natomiast antyperspiranty zawierają dodatkowo sole glinu, które wytrącają proteiny pod naszymi pachami. Owe sole glinu tworzą maleńkie koreczki, które zatykają pory naszej skóry, tak że pot nie może już się wydobywać na zewnątrz. Uważam, że nie jest to najbardziej eleganckie rozwiązanie. Wyobraźcie to sobie: zapchane pory, przez które nie może się wydobyć pot. Niezbyt przyjemna myśl, prawda?

Sole glinu otacza dziś zła sława, bo niektórzy obawiają się, że mogą one być przyczyną raka piersi i alzheimera. Na razie to tylko przypuszczenia, niepoparte dowodami naukowymi, ale i tak myśl o zatkanych porach uważam za nieco niepokojącą. Mimo to regularnie używam antyperspirantów, ponieważ plamy potu pod pachami są po prostu krępujące. Kieruję jednak w stronę ludzkości następujące pytanie: Dlaczego nie możemy po prostu, jako społeczeństwo, zaakceptować plam potu?

Przede mną człowiek prowadzi na smyczy zziajanego psa. Biedak nie ma nawet porów potowych. Od razu przychodzą mi na myśl kangury. Znoszą australijskie upały tylko dlatego, że oblizują sobie futro, a ślina paruje i je chłodzi. Psy i kangury wyśmiałyby nas, gdyby wiedziały, że dobrowolnie zatykamy sobie pory.

Mój przyjaciel fizyk latem zawsze nosi odzież termoaktywną, aby pot mógł lepiej parować. Brzmi to rozsądnie, ale też nie jest

pozbawione egoizmu, którego podstawą może być to, że traktujemy swoje problemy od strony czysto fizycznej. A to z tej przyczyny, że włókna poliestrowe pobudzają rozmnażanie się pakietowców – to morfologiczna forma bakterii, które w niczym nie dorównują bakteriom pod naszymi pachami. Dlatego sportowe ciuchy tak nieziemsko cuchną.

Właściwie należałoby wyprodukować jakiś rodzaj dezodorantu do nosa. Bo kiedy wysiadam z autobusu, nie mogę znieść smrodu moich współpodróżnych. Chciałabym psiknąć sobie do nosa coś, co zamieni niemiły odór w przyjemny zapach. Wówczas latem wszyscy mogliby się schładzać, pocąc się do woli, i nikomu by to nie przeszkadzało.

Zasadniczo technologia sprayu do nosa jest do pomyślenia. Do sprayów używanych w pomieszczeniach dodaje się tzw. cyklodekstryny. Są to cząsteczki o kształcie toroidu, które w dosłownym tego słowa znaczeniu wychwytują niemiłe wonie. I tu reklama telewizyjna wyjątkowo nie mija się z rzeczywistością. Kilka cyklodekstryn w jamie nosowej mogłoby wychwytywać składniki woni. Szkoda tylko, że wówczas byłyby blokowane także ładne zapachy.

Zmysł węchu jest bardzo istotny przy jedzeniu. Doznania smakowe to nie tylko jedzenie, które dotyka kubków smakowych na naszym języku, ale także lotne molekuły aromatu, które unosząc się

z jedzenia, docierają do naszego nosa. Jabłko i cebula są zdumiewająco podobne w smaku, jeśli zatkamy sobie nos.

A skoro jesteśmy przy jedzeniu – muszę ugotować coś dla Christine i Dino, ale brakuje mi czekolady do przygotowania deseru. Pójdziecie ze mną do supermarketu?

ROZDZIAŁ 10

COŚ JEST W WODZIE

Oczym myślicie, kiedy słyszycie słowo „chemik”? Jedno z moich pierwszych wspomnień, w których pojawia się chemik, to obraz mojego ojca, który stoi w supermarkecie, trzyma w ręce jakieś opakowanie i studiuje listę składników. Mój ojciec potrafi poświęcić na to naprawdę wiele czasu – jest prawdziwym supermarketowym detektywem. Będąc dzieckiem, zawsze myślałam, jak niewiarygodnie odjazdowo jest tak dobrze rozumieć świat, że można go czytać jak książkę.

Nie jestem aż tak skrupulatna jak mój tato, ale kiedy idę na zakupy, mam oczy szeroko otwarte, zwłaszcza jeśli chodzi o niektóre oszustwa marketingowe, w których bezczelnie wykorzystuje się

ogólną niewiedzę klientów w zakresie chemii. W supermarkecie najpierw przechodzę przez dział z napojami. W oko wpada mi Smart Water – marka wody mineralnej z firmy Coca-Cola. Jeszcze kiedy mieszkałam w USA, irytował mnie ten produkt. W końcu owa „lifestylowa" woda dotarła i do niemieckich supermarketów. Smart water nie jest zwykłą wodą mineralną, lecz wodą destylowaną (czystą H2O), którą wzbogacono minerałami. W efekcie uzyskano coś dość podobnego do pozostałych wód mineralnych, które można kupić w supermarkecie, albo do wody, która płynie w moim domu z kranu, tyle że tu nakład produkcyjny jest niepotrzebnie wysoki. Muszę jednak przyznać, że to dobry chwyt reklamowy: „smart water" czy coś tak mało atrakcyjnego jak „woda do żelazek", czyli po prostu destylowana – superatrakcyjny produkt! „Woda z chmur", ach, jak pięknie!

Destylacja rzeczywiście działa zgodnie z zasadą chmury: woda najpierw paruje, a potem kondensuje w chłodniejszym miejscu. Jeśli jednak chodzi o smart water, owo chłodne miejsce nie znajduje się na niebie. W praktyce kondensację przyśpiesza się zupełnie nieromantycznie – w chłodnicy. Woda tuż po wyparowaniu spływa w postaci ciekłej do zbiornika. Ta woda jest teraz bardzo czysta, bo w czasie parowania wszystkie zanieczyszczenia zostają w zbiorniku, a woda kondensuje jako czyste H2O. Brzmi przekonująco, prawda? Kto nie chciałby pić całkowicie czystej wody! Ale przecież także nasza woda z wodociągu jest odpowiednio przygotowywana i oczyszczana. Poza tym podczas destylacji woda pozbywa się również bardzo ważnego minerału, czyli soli. Trzeba ją znów dodać do wody destylowanej, aby ta zmieniła się w smaczną wodę mineralną. Picie wody destylowanej przy normalnym sposobie odżywania się nie zagraża wprawdzie naszemu życiu, jak twierdzą niektórzy, ale ta woda po prostu jest niesmaczna. Widzicie, jakie to wszystko kłopotliwe? Można by argumentować, że dzięki temu skomplikowanemu procesowi produkcyjnemu jesteśmy w stanie skontrolować, jakie sole w końcowym etapie lądują w naszej wodzie, ale nie wiem, dlaczego miałoby to być aż tak istotne dla zdrowych dorosłych ludzi. Większość minerałów i tak dostaje się do naszego organizmu w trakcie jedzenia.

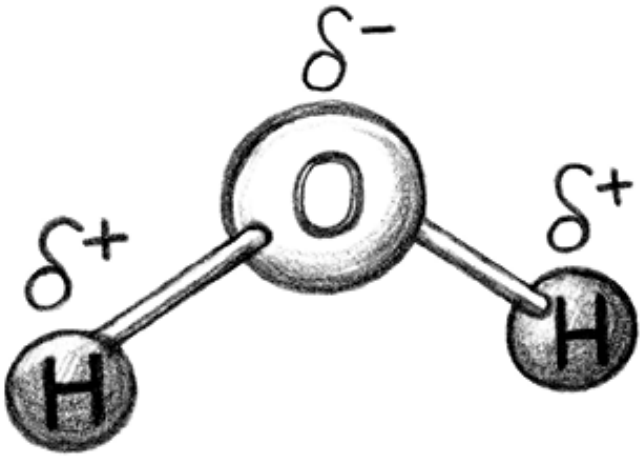
Smart water jest przede wszystkim bezsensownym marnotrawieniem zasobów albo też przebiegłym chwytem marketingowym – zależy, jak na to spojrzeć. To nie wszystko – producenci wykorzystują rzekomo wodę źródlaną, która jest *perfectly fine*, jak powiedziałby Amerykanin. Woda źródlana jest pełna minerałów i przefiltrowana przez warstwy skalne – ale nie jest to żadna woda z chmur. I ten idiotyzm jest reklamowany jako produkt unikatowy!

Jeśli chodzi o wodę, kreatywność nie ma granic. W internecie można kupić wodę księżycową, która była rozlewana do butelek w czasie pełni księżyca. Jedna butelka takiej wody kosztuje tyle, co butelka wina w supermarkecie, za to zawiera ona ponoć bardzo ważną energię księżycową. Oczywiście istnieje też woda słoneczna, która była rozlewana do butelek, kiedy świeciło słońce, i zawiera – to chyba zrozumiałe – słoneczną bioenergię. Są też kamienie szlachetne, które należy wkładać do wody. Ale dążenie do uzyskania wody o wyższej jakości nie ogranicza się tylko do ezoteryki. Ileż na rynku filtrów, których zadaniem jest zmiana wody z kranu w pyszną wodę mineralną! A przecież niemiecka woda pitna z wodociągów podlega o wiele ostrzejszym kryteriom niż woda mineralna sprzedawana w supermarkecie. Niektóre drogie markowe wody nie wytrzymują konkurencji z kranówką, jak twierdzi fundacja Stiftung Warentest. Jeśli więc ktoś pozwala sobie na luksus kupowania wody niegazowanej ulubionej marki, dlatego że właśnie ona mu smakuje, to niech mu będzie. Chociaż w Niemczech trudno narzekać na wodę pitną z wodociągu.

Zadziwia mnie fakt, że ludzie z jednej strony tak starannie wybierają wodę, a z drugiej strony w ogóle ich ona nie fascynuje. Bo woda nie potrzebuje ani pełni księżyca, ani szlachetnych kamieni, aby uchodzić za magiczną molekułę. Dlatego w tym miejscu chciałabym się cofnąć daleko w przeszłość, aby oddać cześć tej wspaniałej molekule, której tak wiele zawdzięczamy.

W rozdziale 8 określiłam wiązanie wewnątrz molekuły wody jako spolaryzowane i kowalencyjne. Atom tlenu ma częściowy ładunek

ujemny, zaś atomy wodoru – dodatni. Poza tym molekuła wody jest wygięta pod kątem. Prowadzi do tego powstanie tzw. **dipolu** z biegunami dodatnim i ujemnym.



Dipolarność w molekule wody

Ponieważ ładunki ujemne i dodatnie przyciągają się wzajemnie, prowadzi to do powstania bardzo ważnej właściwości molekuł wody: w obrębie jednej molekuły występują nie tylko chemiczne wiązania między atomami, ale także względnie silne wzajemne oddziaływania między różnymi molekułami wody. Siły przyciągania pomiędzy ujemnymi i dodatnimi ładunkami częściowymi nie są wprawdzie tak silne jak w wiązaniu jonowym, ale na tyle istotne, że można je określić jako wiązanie – a mianowicie **wiązanie wodorowe** albo po prostu **mostek wodorowy**.

Mostki wodorowe występują nie tylko w molekule wody, mogą one też powstawać zawsze wtedy, kiedy wodór związany jest kowalencyjnie z partnerem wiązania o ujemnych elektronach. Ale jeśli chodzi o wodę, tu szczególnie opłaca się przyjrzeć wiązaniom wodorowym.

Bez mostków wodorowych nie byłoby nas. Nie byłoby życia na ziemi. Bo bez nich przy takim ciśnieniu oraz temperaturach, które panują na naszej planecie, woda występowałaby nie w stanie ciekłym, lecz gazowym. Widać to na przykładzie molekuł, które są podobnie duże lub małe jak molekuły wody, ale między którymi nie

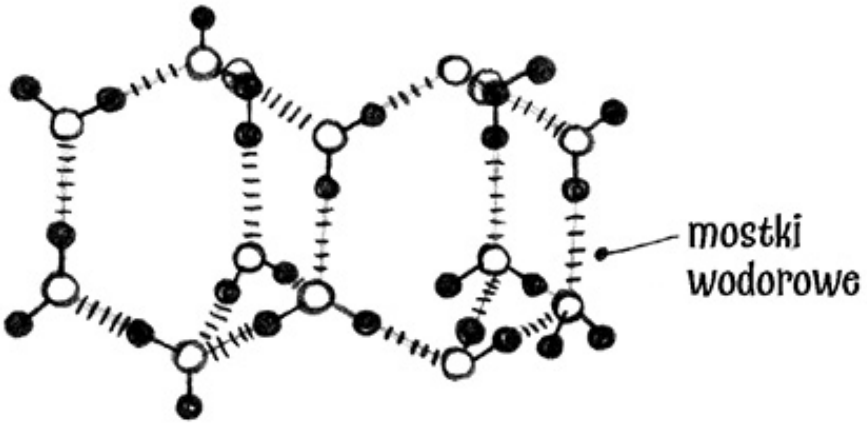
rozwinęły się mostki wodorowe, jak na przykład metan (CH_4) albo dwutlenek węgla (CO_2) – w warunkach ziemskich są to gazy.

Fakt, że woda w ciśnieniu atmosferycznym wrze dopiero w temperaturze 100 °C, zawdzięczamy mostkom wodorowym, dzięki którym molekuły wody trzymają się jedna drugiej. Także ryby wdzięczne są mostkom wodorowym, bo stawy i jeziora nawet w czasie najsroższych zim nigdy nie zamarzają do samego dna. Dlaczego tak się dzieje? Chodzi o gęstość.

Jak wszyscy wiemy, lód pływa na powierzchni wody. I chociaż regularnie to obserwujemy, choćby wtedy, kiedy wrzucamy kostki lodu do naszego napoju, wcale nas to nie dziwi. Przypomnijmy sobie model cząsteczki z rozdziału 1. Stany skupienia jako stały, ciekły i gazowy definiujemy poprzez gęstość upakowania cząsteczek. W substancji o stanie skupienia określanej jako stały cząsteczki „siedzą" bardzo blisko siebie, w stanie ciekłym mają więcej przestrzeni do ruchu i dlatego gęstość jest mniejsza, zaś w stanie gazowym gęstość jest najmniejsza. Dlatego poprzez ciśnienie lub temperaturę można zmienić stan skupienia. Jeśli podnosimy ciśnienie, cząsteczki ściskają się bliżej siebie i gęstość wzrasta. W ten sposób stan gazowy może przejść w stan ciekły, a w końcu w stały. Jeśli zamiast tego obniżymy temperaturę, ograniczymy ruch cząsteczek, te zaś będą potrzebować mniej miejsca, co także prowadzi do zwiększenia gęstości. I tak poprzez schładzanie przechodzimy od pary wodnej do ciekłej wody, a w końcu do lodu.

Ale chwileczkę! Jeśli lód (H_2O w postaci stałej) pływa na wodzie (postać ciekła H_2O), to oznacza, że gęstość lodu jest mniejsza niż gęstość wody. Niesłychane! Jak to możliwe, że gęstość cieczy jest wyższa niż gęstość ciała stałego? Jak już pewnie się domyślacie, przyczyną tego stanu rzeczy są mostki wodorowe. Tę osobliwość nazywamy **anomalią gęstości wody.** Jeśli będziemy schładzać wodę, z początku będzie się ona zachowywać całkiem normalnie: gęstość będzie rosła wraz z coraz niższą temperaturą, tak jak należy. Cząsteczki będą się poruszać coraz wolniej, a mostki wodorowe będą miały coraz lepsze warunki do powstawania i dzięki temu cząsteczki będą się przyciągać. Ale przy 4 °C woda osiągnie punkt najwyższej gęstości. A potem zacznie się dziać coś zabawnego: jeśli będziemy

schładzać wodę do temperatury poniżej 0 °C, gęstość zacznie spadać, a molekuły wody zaczną się oddalać od siebie. Dlaczego? Ponieważ ruch cząsteczek będzie w efekcie tak niewielki, że molekuły wody dopiero teraz zyskają czas i spokój konieczny do przeorganizowania się: zaczną się ustawiać symetrycznie i powstaną kryształki lodu. Taką uporządkowaną strukturę można zobaczyć gołym okiem, patrząc na płatek śniegu lub kryształek lodu. Symetryczny wzór płatka śniegu jest jedynie wynikiem symetrycznego uporządkowania atomów w jego wnętrzu.
W kryształku lodu każdy atom tlenu otoczony jest czterema atomami wodoru. Z dwoma związany jest kowalencyjnie, a z dwoma pozostałymi poprzez mostki wodorowe. Taka sieć krystaliczna ma duże puste przestrzenie i dlatego charakteryzuje się mniejszą gęstością.



Sieć krystaliczna lodu

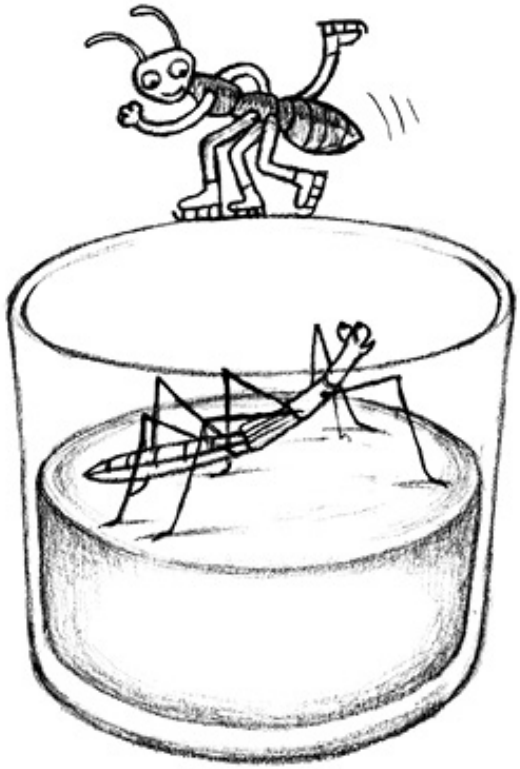
A dlaczego jest to tak ważne dla ryb w jeziorze?

Kiedy zimą woda ulega schładzaniu, opada na dno, bo im zimniej, tym większa gęstość (potocznie mówimy, że woda robi się cięższa). A ponieważ w temperaturze 4 °C gęstość jest największa, woda przy dnie ma temperaturę właśnie 4 °C, a im wyżej, tym jest zimniejsza. W którymś momencie powierzchnia jeziora zaczyna zamarzać – idąc z góry na dół. Gdyby nie owa anomalia gęstości wody, lód byłby cięższy niż woda i jezioro zamarzałoby od dołu do góry. Wówczas lód

byłby wypychany na górę, a ponieważ na górze swoje zrobiłoby też zimne powietrze, jezioro zamarzłoby w całości. Warstwa lodu pełni więc rolę czegoś w rodzaju izolatora dla warstw wody leżących pod nią, dlatego ryby przez całą zimę mogą pływać i oddychać.

Także ludzie czerpią korzyści z tej anomalii, bo gdyby nie ona, trudno byłoby jeździć na łyżwach. Swoją drogą łyżwiarstwo samo w sobie jest osobliwością, jeśli dokładniej się zastanowić. Bo dlaczego właściwie działa to TYLKO na lodzie? Dlaczego nie można jeździć na łyżwach na dowolnej powierzchni, na przykład na ulicznym asfalcie? A dlatego, że w rzeczywistości na lodzie w ogóle nie dotykamy ciała stałego! Unosimy się na cienkiej warstwie wody, która powstaje w momencie, gdy wywieramy nacisk płozą naszej łyżwy na lód. W przypadku innych powierzchni należałoby obniżyć ciśnienie, aby umożliwić przejście z jednego stanu skupienia w drugi: ze stanu stałego w ciekły. Ale umożliwia to anomalia wody: wyższe ciśnienie przyciska cząsteczki ciaśniej do siebie, one rezygnują ze swojej sieci krystalicznej, aby znaleźć się bliżej, i powstaje płynna warstwa, po której bez trudu możemy się ślizgać. A więc mrówka na miniaturowych łyżwach nie mogłaby się ślizgać, ponieważ jest za lekka i nie wywierałaby na lód nacisku koniecznego do powstania cienkiej warstwy wody. Dla niej byłoby to coś w rodzaju ślizgania się po asfalcie.

Niektóre insekty mogą jednak biegać po wodzie; tzw. nartnik otrzymał nawet swoją nazwę właśnie dzięki tej umiejętności. Także to możliwe jest dzięki mostkom wodorowym, bo za sprawą wewnętrznych wiązań woda w stanie ciekłym ma względnie wysokie **napięcie powierzchniowe,** o którym wspomnieliśmy już w rozdziale 3 (przy okazji omawiania baniek mydlanych). Możecie to sobie wyobrazić jako pojedyncze pnie drzew, które dopiero po związaniu tworzą tratwę. Gdyby każda molekuła wody po prostu pływała sobie sama, nie zważając na inne, nartnik natychmiast by utonął. Ale ponieważ molekuły poprzez mostki wodorowe trzymają się jedna drugiej (tworząc rodzaj tratwy), powstaje delikatne usieciowanie, które jest w stanie unieść nartnika.



Można to zaobserwować na przykładzie spinacza biurowego. Jeśli położymy go ostrożnie na powierzchni wody, będzie się na niej unosił.

Dzieje się tak pomimo faktu, że spinacz jest wykonany z metalu i ma większą gęstość niż woda (jest cięższy, mówiąc potocznie). Spinacz zatem wcale nie powinien pływać, ale unosi go napięcie powierzchniowe wody. Jeśli jednak zostanie ono zniesione poprzez wlanie kropli płynu do mycia naczyń i na powierzchni wody zostanie trochę środków powierzchniowo czynnych, „tratwa" rozmięknie i spinacz – plum! – natychmiast utonie.

Ale woda jest przede wszystkim ważnym **rozpuszczalnikiem**. Istotne dla naszego życia substancje, takie jak sole i składniki odżywcze, rozpuszczają się w wodzie. Także człowiek w większości składa się z wody i reakcje przemiany materii w jego organizmie przebiegają w wodnym roztworze. Nerki, które pełnią funkcję filtra, wypłukują za pomocą wody wszystkie odpadki w postaci moczu. Jeśli woda nie służy jako środek transportu bądź rozpuszczalnik, to – jako

chemicznie czynny partner reakcji – jest częścią innych substancji (jej rolę jako potu – czynnika chłodzącego omówiliśmy już w rozdziale 9).

Ale to wszystko najwyraźniej nie wystarczy, aby człowiek uległ fascynacji wodą. Na regale w pobliżu smart water odkryłam „wodę z tlenem" – wodę mineralną, która została dodatkowo wzbogacona tlenem. Polecana jest ona dla osób aktywnie zajmujących się sportem, tak przynajmniej napisano na etykiecie. Brzmi przekonująco, bo zawartość tlenu we krwi odgrywa istotną rolę w wydajności sportowców. Dlatego też EPO (erytropoetyna) jest ulubionym środkiem dopingującym sportowców wytrzymałościowych, ponieważ podwyższa liczbę czerwonych ciałek krwi. A im więcej czerwonych ciałek krwi, tym więcej tlenu krew może przetransportować do mięśni. Czy więc „woda z tlenem" jest rodzajem legalnego, miękkiego dopingu? Tak na szczęście (a może niestety) nie można powiedzieć. Po pierwsze, nawet jeśli wdycha się czysty tlen, można podwyższyć wchłanianie tlenu o 5–15%, bo nasza krew nie może go przyjąć o wiele więcej (chyba że bierze się EPO). Poza tym nie powinno się wdychać czystego tlenu, bo najpóźniej po jednej do dwóch godzin staje się to dość niebezpieczne. Może więc zamiast tego pić rozpuszczony tlen?

I tu dochodzimy do drugiego problemu, a mianowicie: tlen wcale nie rozpuszcza się tak dobrze w wodzie. To, czy gaz dobrze się rozpuszcza w wodzie, zależy przede wszystkim od ciśnienia. Gaz rozpuszcza się w wodzie przy wysokim ciśnieniu, dlatego pojemniki z rozpylaczami napełniane są pod ciśnieniem, aby jak najwięcej dwutlenku węgla rozpuściło się w wodzie. Zauważyć to możemy, kiedy otwieramy nowy pojemnik z rozpylaczem: ciśnienie gwałtownie spada, a to powoduje, że nagle wydobywa się spora ilość dwutlenku węgla. Dokładnie to samo dzieje się z rozpuszczonym tlenem, tyle że tlen jest o wiele gorzej rozpuszczalny niż dwutlenek węgla. Prowadzi to do tego, że za jednym wdechem pobieramy dokładnie tyle samo powietrza, co po wypiciu jednego litra wody wzbogaconej tlenem.

Na koniec jeszcze jeden problem: nasz system trawienny nie jest stworzony do wymiany gazu. O wiele sensowniej jest dostarczać tlen poprzez płuca, które są do tego celu stworzone. Kiedy wdychamy

tlen, gaz za pośrednictwem naszych płuc dociera do krwi. Nie można tego samego powiedzieć o żołądku i jelitach. Tylko bardzo nieznaczna część gazów przyjmowanych w napojach dociera do krwi, reszta jest nieelegancko wydalana w efekcie beknięcia. Kto jednak chce wzbogacić swoje beknięcia o dodatkowe efekty, może pić wodę z tlenem.

Aby jednak zyskać pewność, przeprowadzono eksperyment: czy picie wody z tlenem rzeczywiście prowadzi do mierzalnego zwiększenia wydajności? I choć na jego drodze nie ustalono nic, co by na to wskazywało, nie należy lekceważyć efektu placebo. Już sama wiara w to, że woda czyni człowieka „fit", może sprawić, że ten czy ów rzeczywiście będzie „fit". Wybaczcie, ale u was efekt placebo już nie zadziała. Ale za to możecie oszczędzić pieniądze, nie wydając ich na dziwne produkty z wody, które są kolejnym marketingowym gadżetem.

Jest mnóstwo różnych mitów na temat wody. Wyjątkowo odporny na argumentację jest lęk związany z rzekomą szkodliwością wody zawierającej dwutlenek węgla. Dwutlenek węgla po rozpuszczeniu w wodzie tworzy kwas węglowy – kwaśny, jak sama nazwa wskazuje. Podczas gdy zwykła woda ma neutralną wartość pH poniżej 7, wartość pH wody gazowanej spada do 5. Z jednej strony ma to działanie lekko antybakteryjne (przypomnijmy sobie kwaśne środki konserwujące z rozdziału 7) – w przypadku kwasowej wartości pH mikroorganizmy rozmnażają się gorzej. Ale nawet jeśli wartość pH wynosi 5, nasz system trawienny może tylko wzruszyć ramionami, bo codziennie i tak jest bombardowany masą kwaśnych artykułów spożywczych. Owoce, kawa, czekolada czy produkty mleczne też zawierają kwasy. I najpóźniej w żołądku wymienione produkty trafiają na kwas żołądkowy, którego wartość pH wynosi 1 – jest więc tak kwaśny, że najbardziej gazowana woda nie robi na nim wrażenia. Gdy spojrzeć na to w ten sposób, naprawdę nie ma znaczenia fakt, czy woda, którą pijemy, jest trochę kwaśna. Dotyczy to przede wszystkim kwasu węglowego, bo jeśli dwutlenek węgla wydalimy najpierw – w efekcie potężnego beknięcia po szklance

gazowanego napoju – kwasu już nie ma. A to dlatego, że kwas węglowy to po prostu dwutlenek węgla rozpuszczony w wodzie.

W 2017 roku palestyńscy badacze wywołali spore zamieszanie, pisząc w gazetach, że kwas węglowy, względnie woda mineralna zawierająca dwutlenek węgla, wywołuje głód. W efekcie ciśnienia w żołądku miał być ponoć aktywowany tzw. hormon głodu o nazwie grelina. Taka informacja w Niemczech – kraju wody mineralnej, wywołała oczywiście poruszenie. Mnie jednak te badania nie przekonują. Po pierwsze, przeprowadzono je tylko na szczurach, a po drugie, obok greliny w pobudzaniu apetytu pewną rolę odgrywa też wiele innych hormonów i współczynników. Jest to wprawdzie pierwsza interesująca wskazówka, ale daleko jej do dowodu na to, że woda gazowana pobudza apetyt.

Niektórzy jednak dobrze zrobią, jeśli mimo wszystko będą pić wodę niegazowaną. To, co sprawia, że woda gazowana jest tak odświeżająca, to nie tylko lekko kwaśny smak, lecz także bąbelki dwutlenku węgla, które tak przyjemnie drażnią nasze podniebienie. Gaz CO_2 powoduje, że nam się odbija, i pobudza trawienie w żołądku. Jednak ludzie, którzy cierpią na zgagę lub mają kłopoty z opróżnianiem żołądka, nie powinni napełniać go gazami bardziej niż to konieczne.

Koniec końców trzeba powiedzieć, że wodę należy pić w dużych ilościach – gazowana czy nie, najważniejsze, że smakuje. Jeśli droga, energetyczna „księżycowa woda" powstrzyma kogoś od picia coca-coli, to czemu nie? Zaszkodzi najwyżej portfelowi. Jak wspomniałam, mogę polecić każdemu dobrą wodę z niemieckiego wodociągu – sama taką piję.

Opuszczam już dział napojów i zmierzam w kierunku regału ze słodyczami. Bo przecież wiadomo – słodycze są pyszne. Nigdy z nich nie zrezygnuję, ale najbardziej lubię czekoladę. Mam o wiele czystsze sumienie, kiedy ją jem, niż gdy piję coca-colę. Napoje zawierające cukier są tak niebezpieczne, ponieważ niosą ze sobą tzw. puste

kalorie. Do organizmu trafiają tylko one – bez żadnych substancji odżywczych – i nie zapewniają uczucia sytości. Ale najbardziej niebezpieczne są prawdopodobnie gotowe smoothies, które można dziś dostać w każdym supermarkecie. Po ich wypiciu ma się wrażenie, że zrobiło się coś dobrego dla siebie – dlatego pijemy ich jeszcze więcej. Ale większość smoothies zawiera dokładnie tyle samo cukru co coca-cola, a niektóre nawet więcej. Możecie to sprawdzić przy kolejnych zakupach – trzeba tylko zerknąć na skład. Dla porównania – wskaźnik referencyjny coli wynosi dokładnie 11 g cukru/100 ml.

Smothies sprawiają wrażenie szczególnie zdrowych, bo składają się w „100% z prawdziwych owoców". Niestety, to nie to samo co naprawdę prawdziwe owoce. Bo żeby smoothies były smooth (gładkie), usuwa się skórki owoców, za to dodaje soki. Ilość cukru jest więc wyższa w porównaniu ze świeżymi owocami, które zawierają błonnik. Można pić duże ilości gotowych smoothies, ale odpowiadającej im ilości świeżych owoców nie bylibyśmy w stanie zjeść, bo są zbyt sycące.

Jedno jest szczególnie interesujące: soki wyciskane z owoców nie są tak zdrowe jak owoce zjedzone w całości – tak twierdzi nauka. Już sama konsystencja naszego pożywienia ma wpływ na uczucie sytości, a pożywienie w postaci płynu nie daje takiego uczucia. Dlatego bez wyrzutów sumienia sięgam po trzy tabliczki twardej czekolady i ruszam do kasy.

ROZDZIAŁ 11

Kuchenna terapia

lista zakupów
– 230 g czekolady półgorzkiej
– 120 g masła
– 50 g mąki
– 4 średnie jaja
– 80 g cukru
– 1 łyżeczka ekstraktu z wanilii
– szczypta soli
– 1-2 łyżki mocnej kawy

Słysząc dzwonek u drzwi, drgnęłam wystraszona. Przecież niczego nie zamawiałam. Christine i Dino spodziewam się dopiero za godzinę, a nawet później, bo Christine z reguły spóźnia się na prywatne spotkania. Po chwili przypominam sobie, że przecież jestem dorosłym człowiekiem – i idę otworzyć.

Moja fobia na dzwonek sięga początku studiów. Mój pierwszy współlokator w kółko udzielał mi rady koniecznej, jego zdaniem, do przetrwania: „Nigdy – NIGDY! – nie otwieraj drzwi! Przyjaciele nie przychodzą bez zapowiedzi, a z sąsiadami ma się stałe kontakty”.

Amazona jeszcze wtedy nie było. A więc dzwonek do drzwi zawsze oznaczał coś złego albo jeszcze gorszego – GEZ![3] Gdybym wtedy wiedziała, że kiedyś zawodowo wyląduję w publicznym radiu…

Otwieram i ku swemu zdumieniu widzę Christine.

– Dzisiaj nic już nie będzie z pracy – mówi.

– Kuchenna terapia? – pytam.

– Kuchenna terapia! – Christine wyrzuca ręce w górę.

Kiedy byłyśmy sfrustrowane przy pisaniu pracy doktorskiej – a często byłyśmy sfrustrowane – Christine i ja spotykałyśmy się u mnie i przygotowywałyśmy sobie menu z trzech dań. W ten sposób odreagowywałyśmy – właśnie przez kuchenną terapię. Upłynęło wiele czasu, odkąd ostatni raz gotowałyśmy coś razem, dlatego bardzo się ucieszyłam. Nalewam Christine wina. To trzeba uczcić.

– A gdzie Dino? – pytam.

– Przyjdzie później. Przeprowadza jeszcze jakąś reakcję.

Christine wypija kolejny łyk i widać, że ma wyrzuty sumienia. A to pierwszy wieczór mniej więcej od miesiąca, kiedy wyszła z laboratorium przed dwudziestą. Praca badawcza często przekracza granice frustracji. Czasami trzeba pracować całymi tygodniami albo nawet miesiącami, aby uzyskać potwierdzenie jakiejś hipotezy – a potem jednego dnia na podstawie prostego eksperymentu stwierdzić, że cała robota była jedną wielką bzdurą i wysiłek na nic się nie zdał. Wszyscy popełniamy błędy i co rusz je sobie uświadamiamy – ale kiedy masz przed oczami własne niepowodzenie w postaci suchych liczb i pomiarów, to szczególnie upokarzające. (Lubię sobie wmawiać, że to kształtuje charakter, ale ludzie tacy jak King K niestety dowodzą czegoś innego). Poza tym badania naukowe trwają bardzo długo, co wymaga trudnej do osiągnięcia mieszanki cierpliwości i zdecydowania. Czasami mijają całe lata, zanim dostrzeże się jakiś godny wzmianki postęp, choć przecież człowiek wylał już tyle łez i potu. Dlatego gotowanie jest dla mnie i Christine tak niewiarygodnie satysfakcjonujące: przypomina pracę w laboratorium, ale szybciej się osiąga zamierzony efekt. A w dodatku można potem zjeść coś pysznego.

– Jaki jest plan? – pyta Christine.

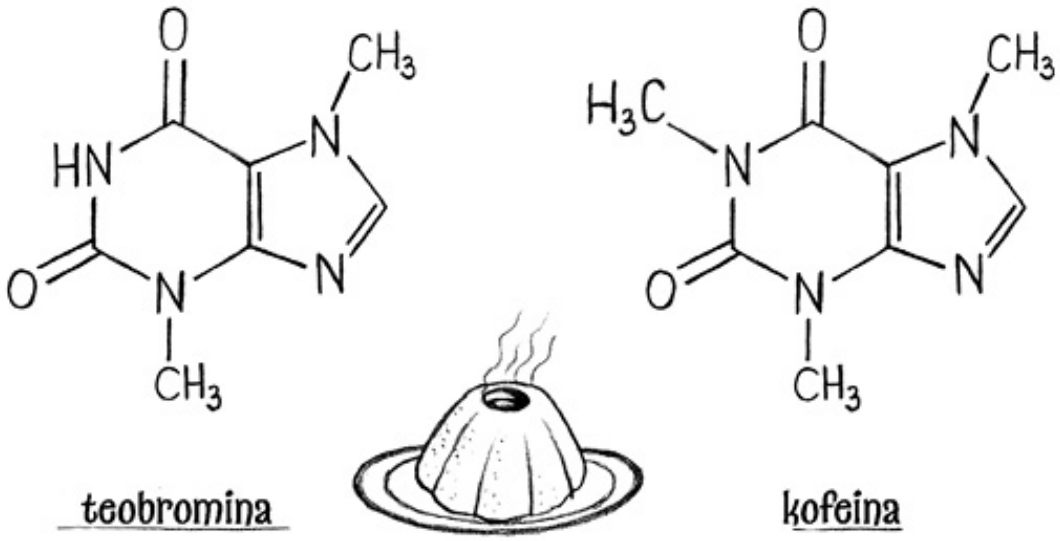
– Fondant czekoladowy na deser – mówię. – A poza tym jestem otwarta na propozycje. Zajrzyj do lodówki.

Przeważnie nie mamy żadnego przepisu ani pomysłu i bardzo nas to cieszy. Podczas gdy w laboratorium wszystko musi być wyliczone co do mikrograma, w kuchni gotujemy na wyczucie, a mimo to potrawy się udają. No, przeważnie. Dla chemika może to być niesłychanie relaksujące. Oczywiście przy gotowaniu bardzo pomaga chemiczne zrozumienie procesu i racjonalne podejście do niego. Dla mnie zawsze chemia wiązała się z dobrym jedzeniem i gotowaniem.

Gotowanie to świetna sprawa, ale najlepsze jest pieczenie. Kiedy ludzie mówią, że lubią gotować, ale nie lubią piec, myślę o tym, że przy pieczeniu nie da się tak łatwo improwizować. Pieczenie to czysta chemia. Jeśli robimy coś bez przepisu, musimy mieć trochę wiedzy i doświadczenia, aby mimo wszystko nam się udało. W czasie gotowania można się pomylić przy przyprawianiu, można też gotować coś za długo czy za krótko. Ale jeśli chodzi o pieczenie, takie nieudolne próby zwykle kończą się fatalnie. Ciasto się zapadnie i wyjdzie nam zakalec albo ciasteczka rozpłyną się na blasze. Christine i ja znamy zasady, jednak przy pieczeniu przeważnie optymalizujemy przepis tak długo, aż otrzymamy własną wersję.

Teraz, w trakcie przygotowywania kolacji, chciałabym na przykładzie czekoladowego fondantu opowiedzieć wam, jak fascynująca może być chemia pieczenia ciasta. Ta wiedza bardzo wam się przyda przy wszystkim, co będziecie piekli. Oczywiście podam też przepis na mój osobisty fondant czekoladowy.

Jest to małe czekoladowe ciasto z płynnym środkiem. Moim zdaniem to wymarzony deser, a przy tym bardzo prosty w przygotowaniu. Główny składnik to najbardziej boska rzecz na ziemi: czekolada! Potrzebujemy jej 230 g, najlepiej półgorzkiej, to znaczy o zawartości kakao 45–60%. Ja zwykle biorę nieco więcej. Kakao zawiera kilka interesujących molekuł, na przykład **teobrominę**. A teobromina wygląda prawie dokładnie tak samo jak kofeina:



Działa też prawie tak samo jak kofeina (przypomnijmy sobie rozdział 7, gdzie była mowa o adenozynie i jej „parkingu receptorów"). Teobromina konkuruje też z adenozyną o miejsce na receptorze. Ale mimo zaskakującego podobieństwa chemicznej struktury teobromina jest wyraźnie słabszym środkiem pobudzającym. Między innymi teobromina nie pasuje tak dobrze do owych luk na parkingu jak kofeina i nie może tak agresywnie wypchnąć z nich molekuł adenozyny. Ale w takim stężeniu, w jakim przyjmujemy teobrominę, nie należy się obawiać, że po zjedzonej wieczorem czekoladzie będziemy mieli kłopot z zasypianiem.

Dokładnie tak jak kofeina, teobromina jest trująca – oczywiście od określonej ilości (dawka czyni truciznę, pamiętacie?). Na szczęście musielibyśmy pochłonąć niesłychane ilości czekolady, aby dawka teobrominy stała się dla nas niebezpieczna. Na długo przedtem zaczęlibyśmy wymiotować albo po prostu czekolada by nam zbrzydła i przestalibyśmy ją jeść. Czekolada jest za to bardziej niebezpieczna dla psów – poziom śmiertelnej dawki teobrominy jest u nich o wiele niższy, przede wszystkim dlatego, że teobromina o wiele wolniej rozkłada się w psim procesie trawienia. Kiedy nasz organizm szybko zamienia potencjalnie trujący środek pobudzający na inne, nieszkodliwe molekuły, chemia teobrominy u psów jest wolniejsza i jej molekuły gromadzą się w organizmie. Następstwa tego to przyśpieszone bicie serca, skurcze mięśni, mdłości, wymioty –

a wreszcie śmierć. Jeśli więc pochłaniacie ze smakiem czekoladowy batonik, a wasz pies patrzy na niego pożądliwie, nie ulegajcie mu!

Warto wspomnieć, że to samo dotyczy kotów. Jednak one mają w tej kwestii tę przewagę, że słodycze im nie smakują. Proteiny, które znajdują się w naszych kubkach smakowych, są tak inne u kotów, że zwierzęta te nie odczuwają smaku cukru ani węglowodanów, wobec czego do ich mózgu nie dociera odpowiedni sygnał. Kot nie będzie więc patrzył łakomie na czekoladowy batonik, ponieważ nie odczuwa żadnej przyjemności z jedzenia czekolady. Ale mimo wszystko ukryjmy starannie przed kotem nasze zapasy. Ich ciekawości nie można zaspokoić, czego dowodzą liczne filmiki na YouTube.

My, ludzie, możemy być wdzięczni naturze, że obdarzyła nas taką zdolnością trawienia teobrominy. Bo choć czekolada składa się przede wszystkim z cukru i tłuszczu, kombinacja z kakao sprawia, że nie możemy się jej oprzeć.

Rozpuszczam czekoladę w kąpieli wodnej. Sprytni cukiernicy mogą to zrobić w kuchence mikrofalowej, jednak nie ma nic milszego niż mieszanie i patrzenie, jak czekolada przechodzi w stan ciekły (a ten zapach!). Zaleta kąpieli wodnej: woda – niezależnie od temperatury płyty kuchennej – nie będzie bardziej gorąca niż temperatura jej wrzenia, czyli osiągnie maksymalnie 100 °C. Dzięki temu unikniemy przegrzania się czekolady, przez co zrobiłaby się grudkowata i wyglądałaby bardzo nieapetycznie.

Dopiero w efekcie podgrzania zauważamy, że czekolada składa się z przypraw, które teoretycznie nie chciałyby mieć ze sobą nic wspólnego – jest to cukier i tłuszcz. O co chodzi? Cukier jest substancją hydrofilową i polarną, tłuszcz zaś – hydrofobową i niepolarną. Staranna mieszanka wzbogacona jest tenzydami najwyższej klasy, czyli lecytyną, która została wyekstrahowana z ziaren soi. I dokładnie tak samo jak tenzydy w naszym szamponie lecytyna to amfifilowe molekuły, które działają jak **emulgator.** Usadawiają się na granicznych powierzchniach między cukrem a tłuszczem i stabilizują mieszankę. Kiedy za bardzo podgrzejemy

czekoladę, lecytyna nie będzie mogła spełnić swojego zadania – i mamy problem. Pojawiają się grudki z tłuszczu z kakao oraz mleka, a także grudki z cukru i cząstek kakao.

W kąpieli wodnej należy jednak uważać, by woda w żadnym wypadku nie dostała się do czekolady. Najlepiej więc nie doprowadzać wody do wrzenia, aby się nie spieniła. Jeśli woda dostanie się do roztopionej czekolady, do zabawy włączy się wyjątkowo hydrofilowy gracz, który sporo nabroi. Woda i cukier natychmiast się odnajdą – znacie zapewne wielkie grudki cukru w cukiernicy, które powstają, gdy dostanie się tam choćby niewielka ilość wody. Coś podobnego stanie się z naszą czekoladą: już śladowe ilości wody spowodują powstanie grudek, a ich niełatwo się pozbyć.

Do rozpuszczonej czekolady można jednak coś dodać – ja dodaję 120 g masła – och, tyle wspaniałego tłuszczu! (co tu dużo mówić, jestem lipofilowa!). Czy to nie interesujące, jak mówimy na co dzień o tłuszczach? „Nasycone kwasy tłuszczowe", „nienasycone kwasy tłuszczowe", „tłuszcze transgeniczne", „tłuszcze omega-3" – rzadko kiedy słyszy się tak bogate słownictwo chemiczne. To doprawdy piękne, ale obawiam się, że mimo ich regularnego używania nie dla wszystkich jest jasne, co te terminy naprawdę znaczą. Trochę chemicznej wiedzy chyba nam nie zaszkodzi?

Już dzięki zmydlaniu wiemy, że tłuszcze i oleje składają się z tzw. **trójglicerydów.** Jest to związek trzech kwasów tłuszczowych i gliceryny. Kwasy tłuszczowe to molekuły długołańcuchowe składające się z atomów C. W każdym wiązaniu C-C zawarta jest energia, którą ciało może pobrać w efekcie przemiany materii. A tłuszcze są substancjami odżywczymi najbardziej bogatymi w energię. To fantastyczne!, myśli sobie nasze ciało, które tkwi jeszcze w czasach łowiecko-zbierackich. Kochamy tłuszcz, chcemy pochłonąć owe cenne źródło energii, gdy tylko je znajdziemy. Jednak niestety w dzisiejszych czasach znajdujemy je na każdym kroku i ten cenny dostawca energii zamienia się w niezdrowy luksus.

Ale tłuszcz tłuszczowi nierówny: nienasycone kwasy tłuszczowe są dobre, a nasycone kwasy tłuszczowe są złe! To prawda. Czym jednak dokładnie różnią się nasycone i nienasycone kwasy tłuszczowe?

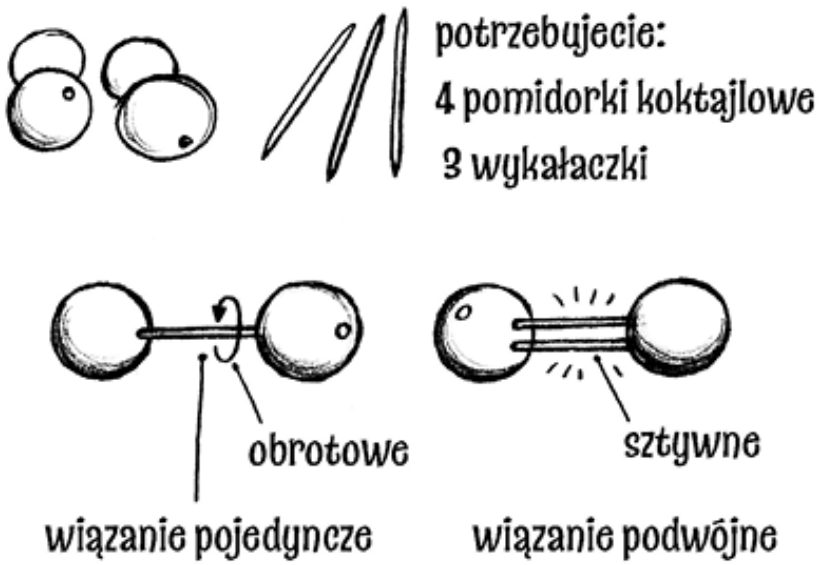
A więc tak: każdy atom węgla może wytworzyć cztery wiązania. Wewnątrz łańcucha kwasu tłuszczowego każdy atom C związany jest z dwoma kolejnymi atomami C – ma on więc jeszcze dwa wiązania do oddania. Jeśli do każdego atomu C przyczepi się dwa atomy H, mamy do czynienia z **nasyconymi kwasami tłuszczowymi**. Nasyconymi – bo są nasycone wodorem.

Nienasycone kwasy tłuszczowe natomiast zawierają podwójne wiązania C=C. Dla każdego podwójnego wiązania trzeba wyrzucić dwa atomy H. Przy każdym podwójnie powiązanym atomie C wisi więc tylko jeden atom H – stąd określenie „nienasycone".

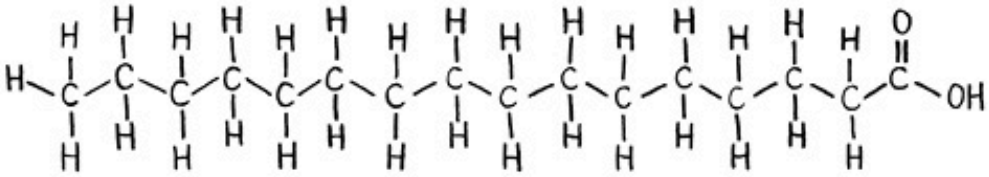
Rozróżnia jeszcze **tłuszcze jedno- i wielonienasycone.** Chodzi o liczbę wiązań. Jedno wiązanie podwójne – jednonienasycone. Kilka wiązań podwójnych – wielonienasycone. Być może zauważacie już, że następne fragmenty będą wymagały większej koncentracji, ponieważ chemiczna wiedza na temat tłuszczów pod względem językowym jest dość nieszczęśliwa. „Nasycone" i „nienasycone" – w czasie szybkiego czytania łatwo to pomylić; mnie się zdarza.

Poza tym z przedrostkiem „nie-" ze słowa „nienasycone" kojarzy się coś, czego brakuje. I słusznie – są to atomy H, których brakuje w tłuszczach nienasyconych. Ale to nas właściwie nie rusza, bo i tak wszystko się kręci wokół obecności podwójnych wiązań w nienasyconych kwasach tłuszczowych. A właściwie nie tyle kręci – bo wokół wiązania podwójnego nic się nie może kręcić. To, co mam na myśli, możecie zrozumieć na przykładzie pomidorów koktajlowych i wykałaczek. Jeśli połączycie dwa malutkie pomidorki jedną wykałaczką, otrzymacie model wiązania pojedynczego. Oba pomidorki możecie bez problemu kręcić wokół ich osi, czyli wiązanie pojedyncze jest ruchome. Ale jeśli połączycie pomidorki dwiema równolegle ułożonymi wykałaczkami, otrzymacie model wiązania podwójnego. To wiązanie jest sztywne – nie możecie obrócić pomidorków, nie niszcząc ich.

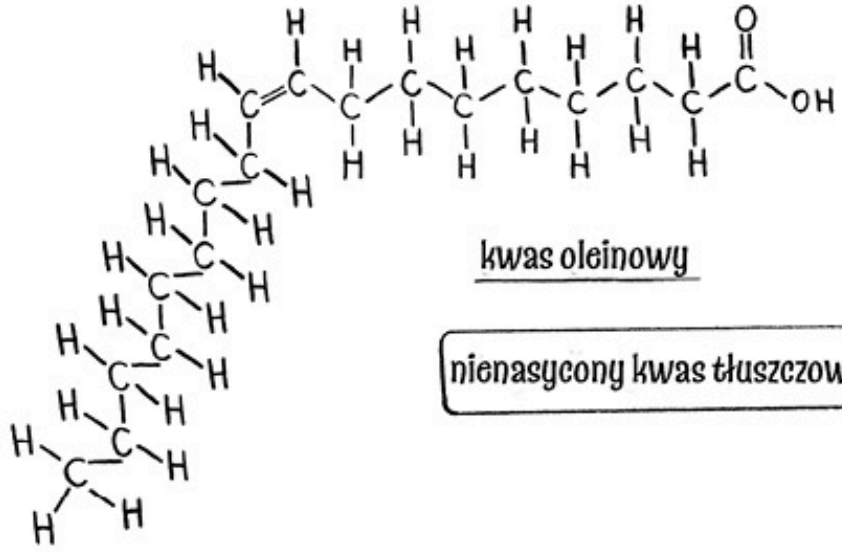
Domowy eksperyment nr 4



Co z tego wynika? Każde wiązanie podwójne to sztywny przegub. Przy nienasyconych kwasach tłuszczowych ów sztywny przegub z reguły nie tworzy „zagięcia”.



kwas palmitynowy — nasycony kwas tłuszczowy

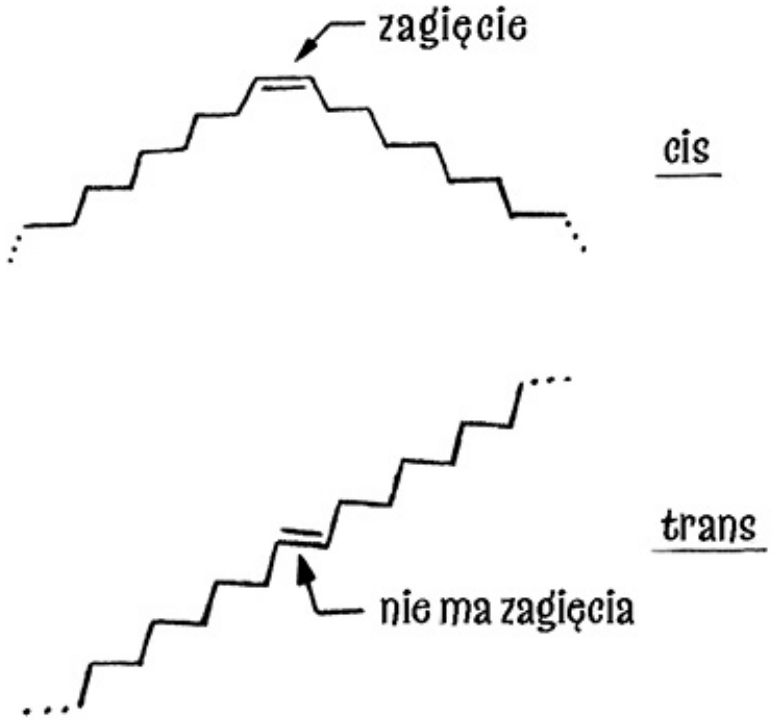


kwas oleinowy

nienasycony kwas tłuszczowy

Już samo to „zagięcie” w budowie molekularnej jest wyraźną różnicą, jeśli chodzi o właściwości fizyczne. Nasycone kwasy tłuszczowe bez „zagięcia” to raczej tłuszcze stałe, a nienasycone kwasy tłuszczowe z „zagięciem” – to tłuszcze płynne. Można to przedstawić w sposób następujący: nasycone kwasy tłuszczowe dają się łatwiej układać, przez co tworzą strukturę czy też konsystencję stałą. Nienasycone kwasy tłuszczowe z „zagięciem” są ciekłe, dlatego gorzej się układają – to oleje płynne. Stan skupienia jest więc wskazówką dotyczącą tego, czy mamy do czynienia z tłuszczami nienasyconymi, czy z nasyconymi. Jednak przejście ze stanu stałego w ciekły jest dosłownie płynne, ponieważ nienasycone i nasycone kwasy tłuszczowe często występują w postaci mieszanej – jak w czekoladzie, ale o tym więcej za chwilę. Najpierw ważna uwaga w celu uzupełnienia: nienasycone kwasy tłuszczowe niekoniecznie

muszą mieć owo „zagięcie”. Chociaż w łańcuchu C zawsze występuje wiązanie podwójne, istnieją dwie możliwości: cis lub trans. Albo jest „zagięcie”, albo go nie ma.



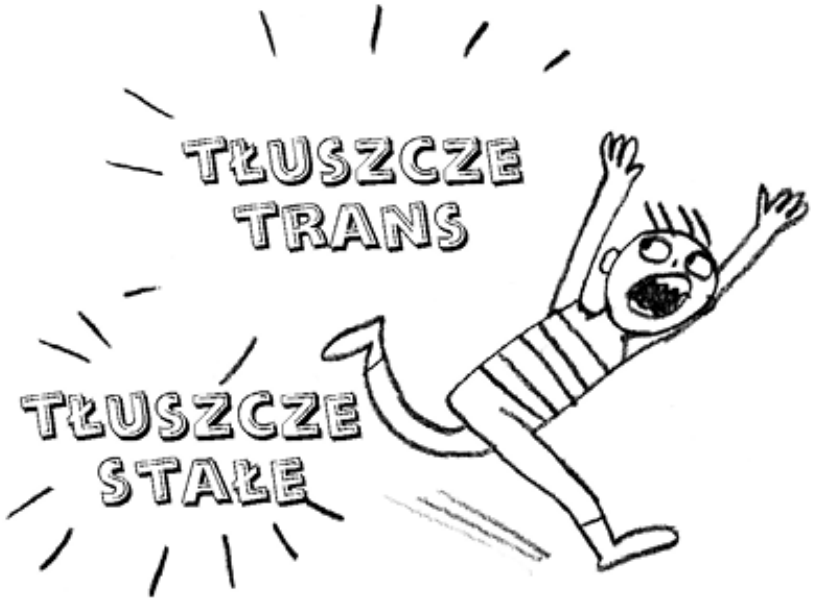
W naszej naturalnej żywności prawie zawsze mamy do czynienia z kwasami tłuszczowymi cis z „zagięciem”. Kwasy tłuszczowe trans występują w mniejszych ilościach w tłuszczach zwierzęcych, dokładniej mówiąc – u przeżuwaczy. I tak na przykład tłuszcz mleczny zawiera 1–6% tłuszczów trans. Jeśli więc w codziennym życiu mówimy o nienasyconych kwasach tłuszczowych, mamy na myśli kwasy tłuszczowe cis. Kwasy tłuszczowe trans świadomie nazywamy „po imieniu” – ponieważ są problematyczne. Tłuszcze trans uchodzą za najbardziej niezdrowe ze wszystkich kwasów tłuszczowych, nie powinny więc stanowić więcej niż 1% naszego spożycia.

Niestety stało się to jasne dość późno. Kiedyś nikomu nie przeszkadzał fakt, że wielkie ilości tłuszczów trans stanowią produkt uboczny utwardzania tłuszczów i po prostu pozostają w produktach żywnościowych. Do utwardzania tłuszczów stosuje się najpierw

nienasycone kwasy tłuszczowe cis, które są uwodorniane. Słowo „uwodornianie” (hydrogenizacja) oznacza, że dochodzi do reakcji z wodorem (angielskie „hydrogen”). Wodór przechodzi do wiązań podwójnych i „przekonuje” atomy węgla – m.in. za pomocą temperatury i ciśnienia – aby rozerwały swoje wiązania podwójne i utworzyły wiązanie łańcuchowe. A więc hydrogenizacja to nasycenie nienasyconych kwasów tłuszczowych.

Kiedy niemiecki chemik Wilhelm Normann w 1901 roku opracował ów proces, przyniósł on wiele korzyści. Dzięki niemu można było z tanich olejów roślinnych wyprodukować tłuszcze stałe, takie jak margaryna albo smalec do smażenia. Tłuszcze stałe stosowane są też do produkcji mydła (patrz rozdział 3). Ale podczas tej reakcji dzieje się coś jeszcze: niektóre wiązania podwójne cis zmieniają się w wiązania podwójne trans – i „zagięcia” się prostują. Dlatego poprzez sztuczne utwardzanie i hydrogenizację powstają tłuszcze trans.

O zgrozo, długo sądzono, że sztucznie wytworzone z tłuszczów roślinnych tłuszcze trans są zdrowsze niż tłuszcze zwierzęce! Dbający o zdrowie miłośnicy masła z ciężkim sercem zamienili je na margarynę. Pojawiało się jednak coraz więcej sugestii, że tłuszcze trans nie tylko wcale nie są lepsze, ale też bardzo niekorzystnie oddziałują na krążenie wieńcowe i naczynia krwionośne – od tak wychwalanego tłuszczu do przerażającego No-Go. Zaczęto badać temat. W końcu Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) ogłosiła werdykt: do 2023 roku tłuszcze trans mają zniknąć! Ostrzeżenia podziałały. Tłuszcze trans mają tak złą opinię, że wielu producentów żywności dobrowolnie zrezygnowało z dodawania ich do swoich produktów albo zredukowało ich zawartość tak dalece, jak to tylko możliwe.



Tak. Tłuszcze trans są złe. Co wobec tego z tłuszczami cis?

W tej dziedzinie też podjęto wiele badań. Badania dotyczące odżywiania to bardzo trudna sprawa, bo najłatwiej tu o sprzeczne wyniki. A wszystko znów zależy od metod naukowych. Wróćmy do rozdziału 5 i do badań kontrolowanych, randomizowanych. Szybko staje się jasne, że takie badania kliniczne dotyczące odżywiania się przeważnie są niewykonalne. Myszy laboratoryjne można łatwo podzielić na grupy testowe i kontrolne, a „zaślepienie" u zwierząt jest automatyczne (w przeciwieństwie do ludzi, którzy wiedzą, co wkłada się im do ust). Ale nie to jest największym wyzwaniem. Zwierzęta można przez dłuższy czas dokładnie kontrolować pod kątem tego, co jedzą, a nawet ile się poruszają. Spróbujcie zrobić to samo z grupą ludzi. Mogę tylko życzyć powodzenia.

Mimo to w niektórych punktach pojawiły się dostatecznie przekonujące dowody. Zaleca się na przykład zastąpić nasycone kwasy tłuszczowe wielonienasyconymi kwasami tłuszczowymi. Eksperci nie są jednak zgodni co do tego, czy w kwestii zdrowszych tłuszczów nienasyconych działa następująca zasada: im więcej wiązań podwójnych, tym lepiej. To znaczy – czy wielonienasycone kwasy tłuszczowe są automatycznie zdrowsze niż jednonienasycone. Jedyne kwasy tłuszczowe, które można uważać za coś lepszego, to

kwasy tłuszczowe omega-3 i kwasy tłuszczowe omega-6. Omega-3 to nienasycone kwasy tłuszczowe, które posiadają wiązanie podwójne przy trzecim atomie C (dlatego 3), liczonym od końca łańcucha (dlatego Omega – „koniec"). To samo dotyczy omega-6, tu jedynie atom C jest liczony jako szósty od końca.

Kwas tłuszczowy omega-3 to kwas linolowy, a kwas tłuszczowy omega-6 to kwas linolowy alfa – należą one do tzw. **egzogennych kwasów tłuszczowych (niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych** – **NNKT)**, co znaczy, że są niezbędne do przeżycia. Ponieważ organizm nie może ich sam wytworzyć, musimy je jeść. Są zawarte w różnych olejach roślinnych i rybach. Nie należy jednak od razu rzucać się na rybę w oleju rzepakowym. Zalecana ilość to 250 mg dziennie. Wszystko ponad to to już tylko przyjemność.

Ogólnie rzecz biorąc, tłuszczu nie powinno się ani posyłać w diabły, ani zbytnio wychwalać. Ta forma dostarczanej energii powinna stanowić nie więcej niż 30–35% spożycia – ale też powinno to być przynajmniej 10%, aby zapewnić sobie odpowiednią ilość kalorii i istotne kwasy tłuszczowe. Poza tym niektóre witaminy są bardzo hydrofobowymi istotami, które o wiele lepiej dogadują się z tłuszczami niż z wodą.

A więc jak zawsze jest to kwestia równowagi. Nie powinno się na przykład jeść codziennie czekoladowego fondanta zawierającego 230 g czekolady oraz 120 g masła. Ale smaczne jedzenie sprawia, że czuję się szczęśliwa – a to trzeba docenić. Czasami za bardzo koncentrujemy się na zdrowiu fizycznym, a przecież zdrowia duchowego nie powinno się zaniedbywać. Dlatego wracamy do naszej czekolady!

Czekolada półgorzka zawiera około 30–35% tłuszczu. Ów tłuszcz, zwany masłem kakaowym, pochodzi z ziaren kakaowca, ale jest też kompleksową mieszanką różnych tłuszczów. W większej części masło kakaowe zawiera trzy różne kwasy tłuszczowe: kwas oleinowy (nienasycony), kwas palmitynowy (nasycony) i kwas stearynowy (nasycony). Owa mieszanka ma cudowną właściwość: w temperaturze pokojowej ma postać stałą, ale w temperaturze

ciała, czyli w naszych ustach, topi się. Poza tym czekolada zawiera tłuszcz mlekowy. Im jaśniejsza czekolada, tym więcej tłuszczu mlekowego. Tłuszcz mlekowy to także kompleksowa mieszanka kwasów tłuszczowych, zarówno tych nasyconych, jak i nienasyconych, ale temperatura jego topnienia jest niższa niż w przypadku tłuszczu kakaowego. Może już zauważyliście, że czekolada mleczna jest bardziej kremowa i delikatniejsza podczas rozpuszczania się w ustach niż gorzka.

Tłuszcz mlekowy zawiera też nasze klasyczne masło. Abyśmy mogli nazywać je masłem, musi się składać przynajmniej w 82% z tłuszczu mlekowego. Dlatego do naszego ciasta na fondant dodaję solidną porcję masła. To nie tylko poprawia smak, ale też obniża punkt topnienia mieszanki, dzięki czemu osiągniemy obłędny płynny środek. Masło mianowicie składa się także z około 16% wody, a to przy pieczeniu odgrywa ważną rolę. W przeciwieństwie do wody z kąpieli wodnej woda zawarta w maśle jest dobrze zemulgowana, to znaczy dobrze wymieszana z tłuszczem mlekowym. Dzięki temu w trakcie mieszania masła z czekoladą nie powstają grudki. Później, już w piekarniku, ciekła woda zamieni się w parę wodną, a jej objętość zwiększy się wielokrotnie i ciasto urośnie. Gazy często uważamy za „nic" i niekoniecznie smakują nam puste przestrzenie w cieście, ale właściwie stany skupienia są bardzo istotne, jeśli chodzi o doznania smakowe przy jedzeniu wypieku. Powstawanie gazów w trakcie pieczenia zawsze odgrywa ważną rolę. Klasyką jest używanie proszku do pieczenia albo sody, która w piekarniku rozpada się, tworząc gaz CO2. To dzięki niemu nasze ciasto rośnie.

Kiedy czekolada i masło powoli się topią i powstaje krem, mieszam w małej miseczce szczyptę soli i 50 g mąki. W większości przepisów miesza się najpierw suche składniki, zanim doda się płynne – i ma to swoje uzasadnienie. Mianowicie mąka zawiera wrażliwą na wodę proteinę o nazwie gluten. Gluten przez długi czas był mało znany, dopiero ostatnio ściąga na siebie coraz więcej uwagi – i to bardzo negatywnej. Coraz więcej ludzi nie toleruje glutenu, czują się lepiej, gdy z niego rezygnują. Nauka trochę bezradnie rozkłada ręce, bo

większość tych osób ani nie cierpi na **celiakię**, czyli genetycznie uwarunkowaną nietolerancję na gluten, ani też nie skarży się z powodu alergii na zboża. Eksperci nie są tu zgodni i podają różne wyjaśnienia, wśród których jest także efekt nocebo, czyli odwrotność placebo. Jedno jest pewne: gluten odgrywa ważną rolę w pieczeniu. To białko nie bez przyczyny zwane jest także proteiną klejącą. Gluten składa się z dwóch różnych białek względnie dwóch klas protein: gliadyny i gluteiny. Dopiero kiedy mąka zetknie się z wodą, połączą się one i utworzą trójwymiarową, kleistą strukturę, zwaną glutenem. To on nadaje chlebowi czy kluskom elastyczną konsystencję. Amerykanin nazwałby to „chewy".

Dlatego ważne jest, w którym momencie pieczenia mąka wchodzi w kontakt z wodą, bo jak tylko to nastąpi, zaczyna się ona kleić. Kiedy gluten się uaktywnia i ciasto się klei, jest już trochę za późno, aby dodać pozostałe suche składniki, jak cukier czy proszek do pieczenia – wszystko niełatwo jest wówczas wymieszać. Dlatego właśnie zaleca się najpierw wymieszać wszystkie suche składniki. Ale o ile w przypadku chleba pożądana jest elastyczność – „chewiness", o tyle wolałabym jej uniknąć w moim czekoladowym fondancie[4]. Dlatego biorę tak mało mąki, żeby wnętrze fondanta było płynne.

Mieszanka czekolady i masła już się rozpuściła, odstawiam ją więc na bok, aby ostygła. Następny krok to kolejna wariacja na temat typowego ciasta do fondanta. Zwykle jajka można wymieszać z odrobiną mąki i całość dobrze rozetrzeć. Ale ja najpierw ubijam jajka aż do spienienia – cztery sztuki średniej wielkości – w dużej misce, za pomocą ręcznego miksera. I powoli dodaję w trakcie ubijania 80 g cukru. Cukier to także suchy składnik i można go było od razu wymieszać z mąką – możecie spróbować i tej wersji, wówczas ciasto będzie bardziej zwarte i mniej puszyste, co też ma swój urok. Ale ubijanie jajek na pianę wychodzi lepiej, jeśli doda się do nich cukier, bo kryształki cukru działają jak drobniutkie kamyczki, które wbijają się w masę powstałą z jajek. Jajka zawierają dużo **protein**, które także są bardzo istotne w procesie pieczenia. Proteiny, podobnie jak tłuszcze, można sobie wyobrazić jako długie

łańcuchy molekuł. Ale owe łańcuchy mają bardziej kompleksowy skład, zaś ich zasadniczymi składnikami są aminokwasy. Poza tym owe łańcuchy są znacznie dłuższe niż łańcuchy kwasów tłuszczowych – tak długie, że tworzą wielkie, trójwymiarowe struktury. Gdy spojrzeć z zewnątrz, proteina przypomina kulę albo jakiś inny trójwymiarowy twór, a nie łańcuch.

Co się dzieje z proteinami, kiedy się je podgrzewa, widzieliśmy już na przykładzie mojej porannej jajecznicy: przechodzą w stan stały. Wysoka temperatura prowadzi do tego, że proteiny się rozwijają i rozkładają. Proces ten nazywamy **denaturacją**. Długie łańcuchy się plączą, powstaje rodzaj struktury przypominającej sieć – jajko robi się twarde. Ów proces splątania jest nieodwracalny. Nieco łagodniejszą wersję tego procesu możemy zaobserwować na przykładzie słuchawek, które nosimy w torbie – zdumiewająco łatwo się plączą i też bywa to nieodwracalne.

W czasie ubijania jajek w efekcie fizycznego uderzania ręcznym mikserem proteiny splątują się, co zakrawa na rodzaj lekkiej denaturacji. Jeśli robimy to tylko z białkiem, powstaje piana o konsystencji stałej. Ważne jest tu powietrze, które w trakcie ubijania jest wyłapywane w formie wielu malutkich pęcherzyków: im bardziej stabilna piana, tym bardziej luźny i lekki będzie nasz deser. Gdybyśmy robili suflet czekoladowy, wykonanie piany z białka byłoby bardzo istotnym krokiem, aby uzyskać lekką konsystencję, przypominającą chmurkę. Ja decyduję się na nieco łagodniejszą wersję. Chcę uzyskać efekt lekkości, aby deser nie był ciężki, jednak nie ma to być suflet. Dlatego ubijam całe jajka, nie oddzielając żółtek od białek. Powstaje miękka piana, bo wraz z żółtkiem do mieszanki dostaje się spora ilość tłuszczu (znowu tłuszcz!), która utrudnia plątanie się łańcuchów protein białka.

Żółtko składa się z około 30% tłuszczu. Dzięki tłuszczowi nie dojdzie do zbytniego ubicia jaja. Pianę z białek, składającą się z protein i wody, można szybko zniszczyć w efekcie zbyt długiego ubijania. Jeśli przesadzimy, piana się zapadnie, ponieważ proteiny połączą się w grudki i oddzielą od wody. Ale jeśli ubija się całe jajko, nie można popełnić błędu. Pod koniec ubijania objętość jajka zwiększy się kilkakrotnie (stąd duża miska), piana będzie delikatna

i puszysta, zaś jej powierzchnia stanie się gładka, błyszcząca i bladożółta.

W piekarniku proteiny ulegną całkowitej denaturacji i staną się twarde. A zawarta w jajku woda spełni takie samo zadanie jak woda w maśle: ciasto będzie rosło. Dzięki powietrzu w pianie powstanie pusta przestrzeń we wnętrzu ciasta i w efekcie środek będzie płynny.

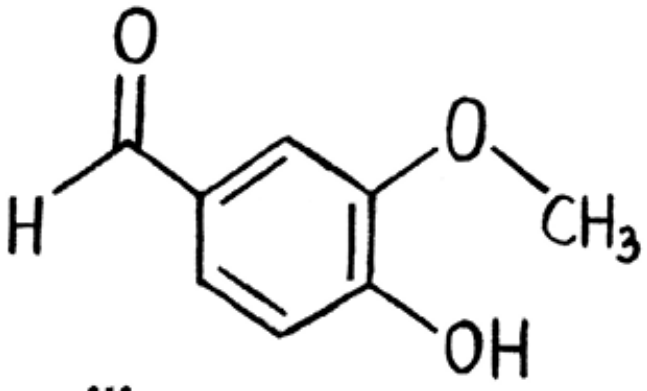
Cukier oczywiście pomaga nie tylko przy ubijaniu jajek. To podstawa wszystkich słodyczy – ale nie powinno się popełniać błędu polegającego na redukowaniu jego roli tylko do nadania słodkiego smaku. Cukier jest **higroskopijny**, co znaczy, że zatrzymuje wodę. (Stąd jego właściwość konserwowania żywności, co ustaliliśmy już w rozdziale 7). W fondancie czekoladowym, który zjada się na gorąco i którego środek jest płynny, cukier nie odgrywa aż tak dużej roli. Ale ciasto albo placki będą suche tym szybciej, im mniejsza będzie zawartość cukru. Kto więc chciałby zredukować spożycie cukru i w trakcie pieczenia ciasta zrezygnuje z połowy jego ilości, za karę będzie jadł suche ciasto.

Cukier jest szczególnie ważny przy robieniu lodów, a zwłaszcza sorbetów. W tych ostatnich mamy nie tylko dużo cukru, ale też dużo wody, w której cukier się rozpuszcza. Jak każda substancja rozpuszczalna w wodzie, zawartość cukru wpływa na temperaturę topnienia bądź zamarzania roztworu. Ten fenomen znamy już z posypywania solą dróg w zimie: woda z solą ma niższą temperaturę zamarzania niż czysta woda; fenomen ten nazywany jest bardzo rozsądnie obniżeniem punktu krzepnięcia. Kiedy czysta woda zamarza już w temperaturze 0 °C, roztwór soli w tej temperaturze jest ciekły. Dlatego sól jest skutecznym środkiem antypoślizgowym, ponieważ woda przechodzi w lód dopiero w niższych temperaturach. Takie obniżenie punktu zamarzania działa też w przypadku wody z cukrem i oddziałuje bezpośrednio na konsystencję lodów i sorbetów. Im wyższa zawartość cukru, tym szybciej topi się lód, im niższa zawartość cukru, tym jest on bardziej twardy. Jeśli więc robi się lody, nie można dodawać cukru według gustu, lecz trzeba wypracować taką konsystencję, która nie będzie ani za twarda, ani zbyt miękka.

Mieszanka czekolady i masła już ostygła, mieszam ją więc, dodając łyżeczkę ekstraktu z wanilii. Słodkawy aromat wanilii tworzy wspaniałą kombinację z ciemnym, gorzkim aromatem kakao. Aromat waniliowy jest powszechnie lubiany. Można wręcz powiedzieć, że jest on wszechobecny. W języku angielskim słowo „vanilla" używane jest potocznie w znaczeniu: „zwyczajny, nudny, pruderyjny". A przecież ten aromat wcale nie jest taki zwyczajny, jak się wydaje. Buteleczkę ekstraktu z wanilii bio z prawdziwych strąków wanilii gatunku Burbon kupiłam kilka miesięcy temu, kiedy akurat miałam nastrój, żeby sobie dogodzić, a była to koszmarnie droga rzecz. Jej cena wynika z tego, że uprawa roślin wanilii jest niesłychanie trudna. Przez długi czas wanilia, jako przyprawa, czyli orchidea, rosła tylko w środkowej Ameryce, bo tylko tam żyje bezżądłowa pszczoła z plemienia melipona. To jeden z nielicznych owadów, który może zapylić kwiat wanilii – nie jest to roślina łatwa do zapylenia. (Patrząc na to od tej strony, słuszne wydaje się znaczenie słowa „vanilla" jako „pruderyjna").

Wanilia długi czas była jedyną przyprawą, której zapach mógł cieszyć niewielu ludzi. Zmieniło się to w roku 1841, dzięki Edmundowi Albiusowi. Albius był dzieckiem rodziny niewolników we francuskiej kolonii La Reunion – to mała wysepka leżąca w pobliżu Madagaskaru. Chłopiec już w wieku 12 lat stwierdził, że kwiat wanilii można zapylić ręcznie. La Reunion stała się wielkim eksporterem wanilii, a wkrótce dołączył do niej Madagaskar. Stamtąd pochodzi dziś większość naturalnej wanilii, którą można nazywać wanilią burbońską. Ale podaż nie pokrywała w najmniejszym stopniu światowego zapotrzebowania na tę przyprawę. Rocznie produkuje się dokładnie 18 000 t wanilii, a tylko około 1% rzeczywiście pochodzi od prawdziwej rośliny. Dzisiejszy proces produkcji bowiem ciągle jest podobny do metody Albiusa – rośliny nadal trzeba zapylać ręcznie.

Za to w latach 70. udało się wyprodukować w laboratorium molekułę waniliny, która jest głównym składnikiem aromatu wanilii. Cukier wanilinowy – nie waniliowy! – który możemy kupić w supermarkecie, przeważnie jest zwykłym cukrem z dodatkiem szczypty waniliny, co stwierdzicie po przeczytaniu etykiety.



wanilina

W ostatnich latach zapotrzebowanie na naturalny aromat waniliowy wzrosło, ale na świecie po prostu nie ma tylu roślin wanilii, aby je zaspokoić. Pomijając trudy uprawy, nie jest też ona zbyt wydajna. Aby wyhodować jeden kilogram strąków wanilii, trzeba zapylić ręcznie 600 kwiatów. Kto więc pragnie mieć naturalny aromat waniliowy, musi być tak głupi jak ja i zapłacić bajońską cenę za mikroskopijną buteleczkę. Naturalny aromat jest wprawdzie smakowo bardziej kompleksowy, bo prawdziwa wanilia burbońska zawiera coś więcej niż wanilinę, ale jeśli podczas pieczenia użyjemy cukru wanilinowego, smak na pewno będzie dobry. Piekąc w domu, możecie śmiało zastąpić 8 g cukru waniliowego torebką cukru wanilinowego.

Jeśli chcecie uzyskać fantastyczny aromat czekoladowy, mam jeszcze jedną wskazówkę: dodajcie porcję kawy espresso. Zanim pomyślicie: Nie, nie lubię smaku kawy w czekoladzie, uspokoję was: nie poczujecie go. (Ja też nie lubię kawowej czekolady). Ale nie tylko teobromina i kofeina są podobne do siebie; czekolada i kawa zawierają także podobne składniki aromatyczne, począwszy od gorzkoorzechowego do owocowego. Jeśli macie w domu kakao używane do pieczenia, spróbujcie szczyptę – stwierdzicie, że smak rzeczywiście przypomina trochę smak kawy, nie jest jedynie tak intensywny. Jeśli więc dodacie do waszego czekoladowego deseru

jedną do dwóch łyżeczek mocnego espresso, będzie tak, jakbyście dodali skoncentrowany aromat kakaowy, tyle że – w przeciwieństwie do kakao – z interesującym akcentem.

Schłodzoną mieszankę czekoladową, wzbogaconą o dodatek wanilii i kawy, mieszam z ubitymi jajami. Pisząc „schłodzoną", mam na myśli niekoniecznie temperaturę pokojową, a jedynie taką, aby proteiny w jajach nie uległy denaturacji: żółtko ulega temu procesowi już w temperaturze 65 °C, białko w temperaturze 83 °C. Nie mieszam wszystkiego szczególnie dokładnie, jedynie tak, aby składniki się połączyły, ale by zniszczyć jak najmniej pęcherzyków powierza w ubitych jajach. Na koniec dodaję mąkę wymieszaną ze szczyptą soli. Teraz już mogę wlać ciasto do posmarowanych tłuszczem foremek na suflety albo muffinki. Jeśli zostanie trochę ciasta, przechowuję je w lodówce, jednak najlepiej wlać je najpierw do foremek, a potem włożyć do lodówki – wtedy będzie można je upiec następnego dnia.

Napełniam cztery foremki i odstawiam je do lodówki. Deser może poczekać, bo dopiero później wstawię go na chwilę do piekarnika. Czas pieczenia ma decydujący wpływ na płynny środek, dlatego sami powinniście ustalić, jak długo ma się piec wasz deser. Średnica moich foremek wynosi 7 cm, a napełniam je do wysokości 4 cm. Dla tych wymiarów czas pieczenia wynosi 15,5 minuty przy temperaturze 190 °C i podgrzewaniu góra–dół. Przynajmniej wtedy, jeśli ciasto ma temperaturę pokojową. Jeśli jednak stało przez noc w lodówce, trzeba je piec 16–16,5 minuty. Gdybyście korzystali ze znacznie mniejszych foremek, optymalny czas pieczenia będzie krótszy o kilka minut. Zaproście przyjaciół i próbujcie!

Kuchenne party tak nas pochłonęło, że nie zauważamy, kiedy w drzwiach pojawił się Matthias – z Dino depczącym mu po piętach. Obaj zaglądają do kuchni nieco skonsternowani.

– O, dobrze, że jesteście! – woła Christine, wyraźnie w lepszym nastroju. – Potrzebujemy waszej pomocy przy krojeniu!

Matthias dyskretnie kiwa ręką w moją stronę, więc wychodzę z kuchni.

– Czy to jest Dino? – pyta szeptem.

– Tak – odpowiadam.

– Spotkaliśmy się przy drzwiach i nie wiedziałem, kto to.

– Mamy spontaniczną terapię kuchenną – wyjaśniam. – I zaprosiłyśmy także Dino.

– Ale on się nie przedstawił, po prostu wszedł za mną do domu w całkowitym milczeniu – śmieje się Matthias.

– Torben jest fajny – mówię. – Jeszcze się wyrobi.

Wracamy do kuchni, a ja wyjmuję z szafy dwa kieliszki do wina – dla Torbena i Matthiasa. Myślę, że to będzie wesoły wieczór.

3 Abonament radiowo-telewizyjny – przyp. tłum.

4 Słowo to pochodzi od angielskiego czasownika *chew* – żuć – przyp. tłum.

ROZDZIAŁ 12

CHEMIA MIĘDZY NAMI

Kroimy warzywa, żywo dyskutując o tym, czy nić dentystyczną należy używać przed czy po myciu zębów – i nagle telefon Christine zaczyna wibrować jak szalony. Sześć wiadomości od Jonasa. Jonas należy do ludzi (podobnie jak ja), którzy nie stawiają kropek, przecinków ani spacji w wiadomościach, tylko wysyłają każdy fragment osobno. Wygląda to mniej więcej tak:

„Hej”

„No co ☺”

„Jeszcze w laboratorium”

„Wpadniesz do mnie”

„Mogę po ciebie wyjść”

Christine patrzy na mnie zdenerwowana.

– Co tak na mnie patrzysz? – pytam i nie mogę powstrzymać śmiechu. – Wszystko przez głupią pastę do zębów!

Christine też parska.

– Tak naprawdę nie chodzi o pastę do zębów – mówi. – Ona była jedynie… wyzwalaczem. Jakoś ciągle nie ma chemii między nami.

Śmiejemy się obie z powodu dwuznaczności tego wyrażenia.

– Zadzwonię do niego – decyduje w końcu Christine i wychodzi z kuchni.

Wyrażenie „chemia między nami” uważam za naprawdę interesujące. Jest to chyba najbardziej pozytywne zastosowanie słowa „chemia” w naszym potocznym języku. Chemia miłości! Nie wiem, co myślą niechemicy, kiedy o tym mówią, ale ja mam wtedy na myśli wyłącznie chemię – i naukę. Brzmi mało romantycznie? Nie, nie sądzę, żeby naukowe podejście do świata odbierało miłości jej czar.

Richard Feynman, amerykański fizyk i laureat Nagrody Nobla, w pewnym wywiadzie bardzo celnie wypowiedział się na ten temat:

„Mam przyjaciela, który jest artystą i czasem wyraża poglądy, z którymi nie mogę się zgodzić. Pokazuje mi kwiat i mówi: *Popatrz, jaki piękny*, a ja się z nim zgadzam. A potem dodaje: *Jako artysta widzę, jaki piękny jest ten kwiat, ale ty, jako naukowiec, rozkładasz to na czynniki pierwsze i w efekcie kwiat wydaje się bezduszny i brzydki*. Myślę, że mój przyjaciel jest trochę pomylony! (…) Przecież piękno tego kwiatu cieszy także mnie. Jednocześnie jednak widzę o wiele więcej niż on. Mogę sobie wyobrazić komórki tego kwiatu, skomplikowane procesy, jakie w nim zachodzą, które też mają swój urok i są piękne. Mam na myśli to, że uroda tego kwiatu nie ogranicza się do tego wymiaru, do jednego centymetra; istnieje także w innych wymiarach, znacznie mniejszych, w wewnętrznych

strukturach kwiatu, w procesach, jakie w nim zachodzą. Fakt, że kolor tego kwiatu rozwinął się w wyniku ewolucji, co miało na celu zwabienie insektów, jest bardzo ciekawy; bo oznacza, że insekty też potrafią dostrzec kolor. To z kolei prowadzi do kolejnego pytania: Czy zmysł piękna rozwinął się także u istot niższego gatunku? Dlaczego w ogóle istnieje piękno? Dzięki tym pytaniom, wynikającym z naukowego poznawania świata, pojawia się jeszcze więcej bodźców, więcej tajemnic i cudów. Coraz więcej! Nie rozumiem, jak to mogłoby ograniczyć moje postrzeganie piękna".

Słowa Feynmana sprawiają, że każdy naukowiec ma chęć głośno zawołać: Masz rację, człowieku! Mam nadzieję, że wy, nawet jeśli nie jesteście naukowcami, też myślicie tak jak Feynman. Rozumieć świat lepiej, dogłębniej – dzięki temu wszystko staje się jeszcze bardziej fascynujące.

Poza tym piękno nauki nie polega na odkryciu prawdy, tylko na ciągłym jej poszukiwaniu. Nie sądzę, że będziemy w stanie naukowo zbadać miłość wraz ze wszystkimi jej niuansami. Jesteśmy od tego daleko, i to o całe mile. Ale nie uważam też, że próby naukowego badania miłości, emocji i stosunków międzyludzkich są nieromantyczne.

Bez badania mogę z całą pewnością stwierdzić: pomiędzy mną a Matthiasem chemia istnieje. Może dlatego, że oboje jesteśmy chemikami. Ale choć stuknęło nam razem dziesięć lat, kiedy po ciężkim i intensywnym dniu pracy słyszę, jak Matthias otwiera drzwi, albo kiedy on po męczącym dniu kręcenia filmu wieczorem wychodzi po mnie na dworzec, wciąż na jego widok mam motyle w brzuchu.

Co ciekawe, wyzwalacz owego uczucia motyli w brzuchu w ogóle nie jest romantyczny. To ten sam mechanizm, który zadziałał dziś rano, wywołany przez potworny budzik Matthiasa: reakcja typu *fight-or-flight*. Czy zatem wolę uciekać na widok Matthiasa, czy też dać mu prztyczka w nos? Nic z tych rzeczy – a jeśli coś takiego czujecie na widok swojego partnera, powinniście się z nim jak najszybciej

rozstać. Ale rzeczywiście fizyczna reakcja odczuwana jako stres jest nierozerwalnie związana z zakochaniem się, nawet jeśli odbieramy ją pozytywnie. Bycie zakochanym to nie tylko gwałtownie bijące serce, ale też podwyższony poziom kortyzolu. Rano zdefiniowaliśmy kortyzol jako hormon stresu – teraz dowiemy się czegoś o jego drugim obliczu. Mając bowiem w pamięci owe motyle, kortyzol moglibyśmy nazwać hormonem miłości!

Wiedza ta może pomóc wam przezwyciężyć tremę, ponieważ przyjrzycie się jej z innej perspektywy. Lęk przed stanięciem na scenie albo wygłoszeniem wykładu przed obcym audytorium także wyraża się w reakcji typu *fight-or-flight*. Ale ludzie, którzy lubią występować publicznie, nie odczuwają chęci ucieczki, tylko właśnie owe motyle w brzuchu. Cel chemicznej reakcji typu *fight-or-flight* w różnych sytuacjach jest taki sam: przed wygłoszeniem wykładu to ów wykład ma się stać absolutnym priorytetem. Dokładnie tak jak w momencie natknięcia się na tygrysa szablozębnego potrzebna jest nam cała nasza uwaga. To znaczy, że niektóre tymczasowo mniej istotne funkcje naszego ciała mogą poczekać – należy do nich na przykład trawienie. Krew jest odprowadzona z żołądka, co prowadzi do osobliwego, „mdlącego" uczucia, którego nienawidzimy w sytuacjach stresujących, a które jest tak cudowne, gdy jesteśmy zakochani. Kiedy więc widzę Matthiasa po długim dniu, moje ciało mówi: Zostaw wszystko, trawić możemy później – teraz skup się na tym cudownym człowieku!

To niesłychane szczęście mieć kogoś, kogo można mocno uścisnąć po stresującym, męczącym dniu. Wszyscy wiemy, jaką emocjonalną siłę ma taki gest. Pomysł obklejenia ulic plakatami namawiającymi do darmowego uścisku stał się przed kilkoma laty tak powszechny, że zaczął sprawiać wrażenie nieco wyświechtanego, jednak rozjaśnione twarze i ewidentna radość spowodowana uściśnięciem, nawet kogoś całkiem obcego, to prawdziwy fenomen.

Co dokładnie się dzieje, kiedy obejmiemy drugiego człowieka? Zastanawiali się nad tym psycholodzy z Carnegie Mellon University

w Pittsburgu. Ich badania przeprowadzone na grupie 400 uczestników składały się z trzech metodycznych kroków:

Krok 1: Naukowcy wypytali uczestników o ich socjalne powiązania (prawdziwe, nie te internetowe) i o emocjonalne wsparcie w codziennym życiu. Czy mają przyjaciół, z którymi mogą coś przedsięwziąć? Czy może czują się wykluczeni społecznie? Czy mają kogoś, komu mogą powierzyć swoje troski i obawy?

Krok 2: Przez 14 dni każdego z uczestników badania pytano, czy znalazł się w jakichś konfliktach społecznych – i czy był przytulany.

Krok 3: Wszyscy uczestnicy zostali zarażeni wirusem przeziębienia, poddani kwarantannie i obserwowani! Dość dyskusyjna metoda, jak na badania psychologiczne, ale wyniki okazały się nadzwyczaj ciekawe. Konflikty społeczne mogą prowadzić do stresu, a stres z kolei prowadzi do osłabienia systemu immunologicznego. A więc jeśli jesteśmy zestresowani, przeziębiamy się łatwiej i szybciej. Ale ci uczestnicy, którzy zadeklarowali wcześniej, że mają silne więzi społeczne i emocjonalne, byli obciążeni mniejszym ryzykiem zachorowania – niezależnie od tego, z iloma konfliktami społecznymi musieli się uporać w ciągu ostatnich dwóch tygodni. Podobnie pozytywny wynik osiągnięto po zbadaniu tych uczestników, którzy na etapie drugim potwierdzili, że często byli przytulani.

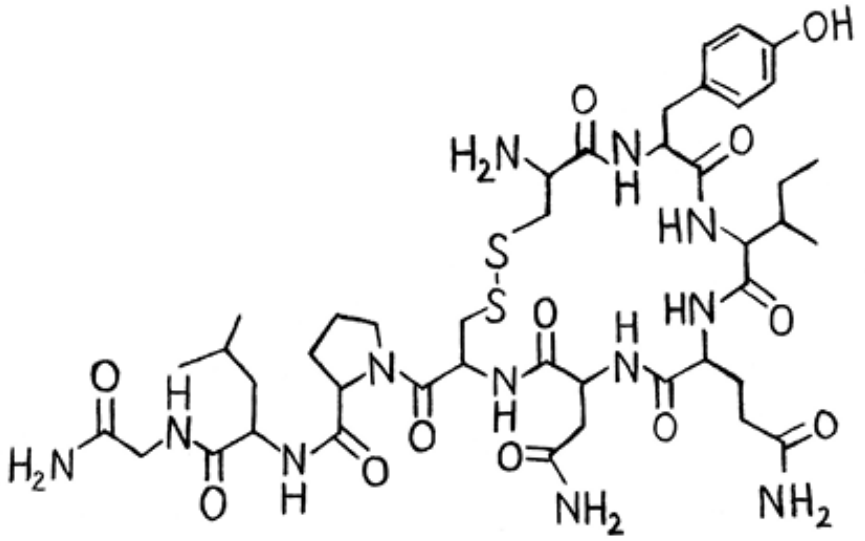
Uściski jako profilaktyka przeziębienia? Z pewnością byłoby dobrze prześledzić kolejne badania na ten temat, ale na razie pozostanę przy mojej codziennej „jednostce tulącej".

Generalnie jestem człowiekiem bardzo „uściskolubnym", co prawdopodobnie mam po mojej mamie. Może przeszło to na mnie w genach, a może jest tak dlatego, że mama często mnie tuliła, kiedy byłam dzieckiem. Zresztą nadal mnie tuli. Kiedy odwiedzam moich rodziców, wiem, że mogę liczyć na mnóstwo uścisków i pocałunków. Gdy skończyłam 12 lat, oświeciło mnie, skąd może się brać moje zamiłowanie do tulenia. Było to w czasie mojej pierwszej wizyty u rodziny mamy w Wietnamie. Miałyśmy za sobą długi lot i równie długą, męczącą podróż autobusem przez ciasne, niezabezpieczone drogi. Zmierzchało się, kiedy całkiem wyczerpana wysiadłam wreszcie z autobusu. Wtedy dosłownie opadła mnie chmara obcych ludzi, którzy wyglądali podobnie jak ja. Wszyscy

krzyczeli radośnie, niemal histerycznie, płakali i brali mnie w ramiona, atakowali moje czoło pocałunkami i długo nie chcieli wypuścić mnie z objęć. Wtedy, jako nastolatka, uważałam tę wylewność za nader nieprzyjemną. Dziś jednak sądzę, że to przemiłe!

W czasie studiów oświeciło mnie po raz kolejny, kiedy dowiedziałam się o molekule zwanej **oksytocyną**. Hormon ten odgrywa istotną rolę w trakcie porodu i karmienia, pomaga też w czasie koncentracji mięśni macicy („oksytocyna" ze starogreckiego znaczy tyle, co „szybki poród"). To oksytocyna powoduje ścisły związek między matką i dzieckiem, wydziela się w razie bliskości romantycznego partnera, na przykład przy całowaniu, i ogólnie jest odpowiedzialna za relacje społeczne oraz uczuciowe. Nie na darmo oksytocyna zwana jest hormonem przytulania.

W rodzinie mojej matki wszyscy muszą mieć wysoki poziom oksytocyny. Ale to na przykładzie tego hormonu miałam się nauczyć, że działania molekuł hormonu nigdy nie będzie się dało łatwo wytłumaczyć.



Ta piękna struktura chemiczna – przynajmniej ja jestem nią zachwycona – w zestawieniu z określeniem „hormon przytulania" sprawia, że oksytocyna cieszy się wielkim powodzeniem wśród

nerdów i ich przyjaciół. Można kupić filiżanki z napisem „oksytocyna”, swetry z oksytocyną, a nawet wisiorki – oczywiście też z oksytocyną. Także wśród naukowców oksytocyna, jako przedmiot badań, jest bardzo lubiana.

W 1979 roku przeprowadzono badania, podczas których podano oksytocynę młodym samicom szczurów. Hormon ten wywołał u nich coś na kształt instynktu macierzyńskiego – samiczki zaczęły się troszczyć o obce potomstwo, tak jakby było ich własne. W 1994 roku ustalono, że oksytocyna odgrywa istotną rolę przy wyborze partnera u norników preriowych. Norniki preriowe to nie tylko bardzo słodkie zwierzątka (wygooglujcie sobie), ale też jedne z nielicznych ssaków, które są monogamiczne, to znaczy żyją z tym samym partnerem do końca życia. Oksytocyna to jednak bardzo miły hormon, prawda?

U ludzi oksytocyna powoduje wzrost ufności – zgodnie z pewnymi szwajcarskimi badaniami. Naukowcy polecili zagrać uczestnikom eksperymentu w grę, w której mieli inwestować pieniądze. Ci, którym uprzednio zaaplikowano do nosa oksytocynę, okazali się bardziej ufni w stosunku do obcych współgraczy. Niemieccy badacze ustalili z kolei, że mężczyźni pod wpływem oksytocyny ograniczają liczbę kalorii, jedząc mniej przekąsek, co pozwoliło wysnuć przypuszczenie, że oksytocyna, nie wywołując uczucia głodu, może zmniejszyć chęć podjadania. Hormon przytulania jako środek na wilczy apetyt? To byłaby interesująca terapia w walce z nadwagą, ale należałoby w tym celu przeprowadzić dodatkowe badania.

A jednak wpływ oksytocyny nie zawsze jest pozytywny. Najnowsze badania sugerują, że hormon przytulania wzmacnia niemiłe wspomnienia. Oksytocyna intensyfikuje wspomnienia socjalnych interakcji – tych miłych, jak pierwszy pocałunek, ale również tych mniej przyjemnych, jak upokorzenie lub lęk przed utratą bliskiego człowieka. Podczas gdy wzmacnia relacje międzyludzkie, jednocześnie może więc doprowadzić do zdeterminowania naszych działań przez myślenie grupowe – a tym samym do wykluczenia. Tak samo jak empatia i współodczuwanie powodują, że działamy „po ludzku”, oksytocyna może sprawić, że okażemy więcej współczucia

tym, którzy w jakiś sposób są do nas podobni, niż tym, którzy znaleźli się poza nawiasem społeczeństwa.

Aktualny stan badań kwestionuje określanie oksytocyny mianem hormonu przytulania. Jej wpływ na nasze współżycie i zachowania społeczne jest bezsprzeczny, ale ma on zarówno pozytywne, jak i negatywne strony. W zalewie sygnałów, bodźców i informacji, które bombardują nas każdego dnia, ginie niejeden przekaz socjalny. I tak być może przeoczę to, że Christine martwi się, podczas gdy ja siedzę beztrosko w stołówce. Oksytocyna działa jak filtr chroniący przed szałem. Między innymi pobudza wydzielanie hamującego neuroprzekaźnika o nazwie GABA, o którym napiszemy dokładniej w następnym rozdziale. Owo hamowanie sygnałów powoduje obniżenie upojenia, dzięki czemu możemy uważniej postrzegać społeczne bodźce i wskazówki.

Dlatego oksytocyna jest badana pod kątem wspomagania leczenia autyzmu. Osoby autystyczne mają z reguły trudności z selekcjonowaniem informacji, na przykład z trudem odczytują emocje, które odzwierciedla wyraz twarzy. Jak dotychczas wszystkie badania w kierunku powtarzalności wyników zawiodły, jednak dla chorych, u których od samego początku stwierdzano niski poziom oksytocyny, wsparcie przez jej uzupełnianie może się okazać obiecujące.

Interesujące są paralele między oksytocyną a alkoholem. Z początku były to tylko takie oddziaływania, które można zaobserwować z zewnątrz. Zarówno oksytocyna, jak i alkohol mogą zredukować strach i lęk, a jednocześnie zintensyfikować ufność i wielkoduszność. Oba te środki mają jednak ciemne strony: intensyfikują też agresję, skłonność do ryzyka i pozytywnej stronniczości w stosunku do własnej grupy. Także działania neurologiczne obu molekuł mają zaskakujące paralele. I tak alkohol intensyfikuje hamujące działania neuroprzekaźnika GABA, choć dzieje się to w następstwie innego mechanizmu, który omówimy

w kolejnym rozdziale. Tak czy inaczej, określenie „upojony miłością” może wcale nie być na wyrost.

Christine bynajmniej nie jest upojona miłością, kiedy wraca do kuchni po rozmowie z Jonasem. W ramach kompensacji obejmuję ją serdecznie. I dolewam wina do jej kieliszka.

ROZDZIAŁ 13

NAMIĘTNOŚĆ DLA RZECZOWOŚCI

W doskonałych nastrojach – i z przepełnionymi żołądkami – rozpieramy się na krzesłach przy stole. Sączymy wino i czekamy na nasze czekoladowe fondanty, które właśnie rosną w piekarniku. Wróć: w moim kieliszku jest woda. Nie piję alkoholu, bo go nie toleruję. Około 40% mieszkańców Azji Południowo-Wschodniej genetycznie nie przyswaja alkoholu – już po wypiciu niewielkiej ilości nasze twarze robią się czerwone, a my jesteśmy kompletnie pijani. Nie wszystkich jednak powstrzymuje to przed spożywaniem procentów. Nasz kumpel mieszka w Chinach i co rusz donosi nam, jak to on – „Niemiec tolerujący alkohol" – bez przerwy jest zmuszany przez swoich chińskich kolegów do picia podczas firmowych spotkań. Wielu dorosłych Chińczyków regularnie upija się niemal do nieprzytomności, jakby nie mieli innego wyjścia. Ale przyznaję, Matthias i ja zawsze pilnujemy, żeby w domu było dość

alkoholu, kiedy zapraszamy gości. W innym przypadku cóż byliby z nas za gospodarze?

Jako chemiczka pod pojęciem „alkohol" rozumiem całą klasę chemiczną. Bo alkohol to właśnie… alkohol, a mianowicie **etanol**. Wszystkie alkohole mają wspólną cechę – są trujące, niektóre bardziej, inne mniej. Ale nie tylko one stanowią problem, lecz również produkty ich rozkładu w czasie przemiany materii. Utlenianie to zwykły proces rozkładu alkoholu, najpierw na tzw. aldehyd, a potem na kwas karboksylowy. **Metanol**, który jest młodszym bratem etanolu (o jedno miejsce w szeregu), byłby mniej trujący, gdyby w naszym organizmie się nie utleniał, w wyniku czego powstaje formaldehyd, którego przyjmowanie prowadzi do ślepoty. Zaś izopropanol – jeden z alkoholi często stosowany przy produkcji środków dezynfekcyjnych – po wypiciu może doprowadzić do duszności i zaburzeń układu krążenia.

Wszystkie alkohole mają swoją śmiertelną dawkę. Etanol – w porównaniu z pozostałymi – jest względnie najlepiej tolerowany, ale także tylko w określonej dawce. Nasz organizm wykształcił znakomity mechanizm obronny, który pozwala uniknąć śmierci z powodu zatrucia etanolem, a mianowicie wymioty. To jednak też nie jest do końca bezpieczne, bo po utracie przytomności własnymi wymiocinami można się udusić.

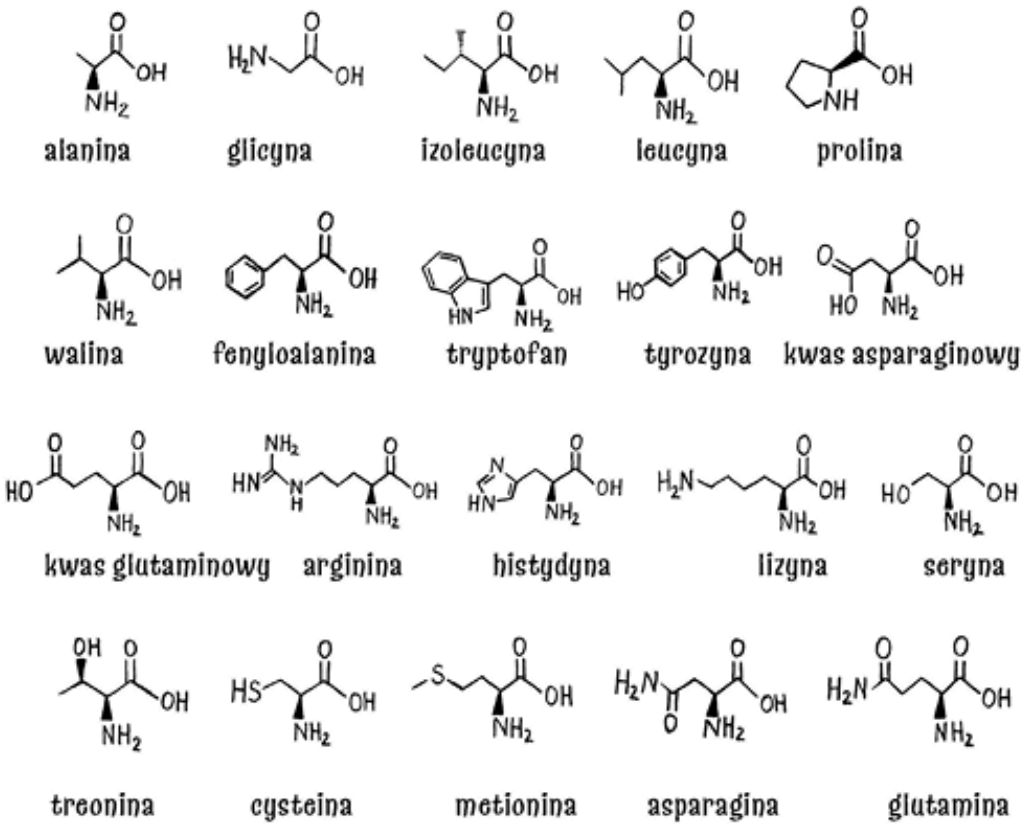
Ten, kto się upija do nieprzytomności, wyrządza sobie ogromną krzywdę. Alkohol ulega przemianie materii w wątrobie, bo jej zadaniem jest pozbycie się substancji toksycznych. Nadmierne jego spożycie może doprowadzić do przeciążenia wątroby i uszkodzenia jej – a to tylko jeden punkt na bardzo długiej liście długotrwałych uszczerbków zdrowotnych. Także serce i układ pokarmowy podziękują wam kiedyś za alkoholową wstrzemięźliwość. Nie wspominając o niewłaściwych decyzjach podjętych w stanie upojenia.

Dlatego też traktuję moją nietolerancję alkoholu jak błogosławieństwo i mam nadzieję, że kiedyś przekażę ów zmutowany gen moim dzieciom. Być może głupio to brzmi, ale uwierzcie mi: nie pijąc alkoholu, naprawdę nic nie tracimy. Chociaż wiele osób mimo wszystko bardzo mi współczuje.

Osobiście uważam mój zmutowany gen za niesłychanie fascynujący. Aby to zrozumieć, trzeba sobie uświadomić, co dokładnie dzieje się z etanolem w organizmie. Za pomocą enzymu o nazwie **dehydrogenaza alkoholowa**, w skrócie **ADH**, etanol jest przerabiany na substancję o nazwie **aldehyd octowy**. Pod względem zdrowotnym aldehyd octowy jest mniej więcej tak samo zły jak etanol. Jest to mutagen, czyli rakotwórcza substancja, która może uszkodzić nasze DNA. Aldehyd octowy prawdopodobnie przyczynia się do coraz większej liczby badań poświęconych związkom między konsumpcją alkoholu a zachorowalnością na raka. Dlatego organizm stara się jak najszybciej pozbyć tej szkodliwej substancji. W trakcie przemiany materii aldehyd octowy podlega dalszemu utlenianiu, w wyniku czego powstaje **kwas octowy** względnie **octan**, który z kolei jest solą kwasu octowego. Dopiero wtedy niebezpieczeństwo jest zażegnane – organizm może bez trudu wydalić octan albo przetworzyć go na energię. Właśnie dlatego alkohol jest tak kaloryczny.

Owo utlenianie aldehydu octowego do octanu przebiega dzięki pomocy drugiego enzymu. U większości Europejczyków ów enzym nazywamy **dehydrogenazą aldehydową 2**. U mnie – podobnie jak u wielu Azjatów i nielicznych nie-Azjatów – enzym ten wygląda inaczej. I właśnie w tym tkwi problem.

Aby prześledzić ów problem, musimy wiedzieć, jak wyglądają enzymy. W tej książce zetknęliśmy się już z nimi, ale temat alkoholu daje nam znakomitą okazję, by poruszyć kilka istotnych kwestii. Enzymy zaliczają się do protein, a więc składają się z aminokwasów. Aminokwasy to małe molekuły zbudowane głównie z węgla, tlenu, wodoru i azotu. Istnieje dwadzieścia różnych aminokwasów, które nasz organizm wykorzystuje do tworzenia białek:



Powyższa grafika na pierwszy rzut oka robi duże wrażenie. Ale kiedy sobie uświadomimy, że wszystkie nasze proteiny składają się tylko z owych dwudziestu modułów oraz że pilotują wszystkie biologiczne i chemiczne procesy w naszym organizmie, system budowy modułowej okazuje się zadziwiająco skromny.

W jednej proteinie wszystkie aminokwasy połączone są w bardzo długi łańcuch. Enzym dehydrogenaza aldehydowa 2 składa się z łańcucha liczącego 500 aminokwasów, które powiązane są w określonej kolejności. Ale łańcuch ten nie leży swobodnie, ułożony w dowolny sposób, lecz jest poskładany precyzyjnie jak origami. Podobnie jak molekuły wody, także te łańcuchy mogą tworzyć mostki wodorowe – każdy łańcuch z drugim. Na pierwszy rzut oka wygląda to przeważnie jak chaotyczny splot. Ale – zależnie od rodzaju aminokwasów i ich kolejności – każda proteina ma bardzo charakterystyczną, trójwymiarową strukturę i owa przestrzenna budowa jest decydująca dla jej funkcji.

Nawet dla naukowców, którzy codziennie pracują z proteinami, ta całość jest bardzo złożona. Aby każdy nie skupiał się tylko na swojej dziedzinie, podzielili oni strukturę na różne aspekty: chemiczny skład łańcucha to tzw. **struktura pierwszorzędowa** – tu bada się tylko sekwencję aminokwasów, to znaczy kolejność modułów. Sposób, w jaki łańcuch się składa, opisuje się w strukturach **drugo-**, **trzecio-** i **czwartorzędowej**.

To trochę tak jak w wieży z klocków Lego: jeśli patrzymy tylko na to, jakich klocków użyliśmy i w jakiej kolejności, odpowiada to strukturze pierwszorzędowej. Wieża, jako trójwymiarowa forma, odpowiada nadstrukturze. Obraz klocków jest jednak zbyt prosty dla protein – bez problemu można bowiem zastąpić żółty klocek zielonym i wieża ciągle będzie wieżą. Można też wymienić dwa klocki i forma wieży się nie zmieni. Aminokwasy jednak to na tyle zmyślne moduły, że najmniejsza wariacja w pierwotnej sekwencji może mieć poważne następstwa dla nadstruktury.

Dobrym przykładem jest tu mój „zniszczony" enzym – dehydrogenaza aldehydowa 2. W jego długim łańcuchu liczącym 500 aminokwasów na pozycji 487. jeden aminokwas jest inny – wymieniono tylko jeden moduł. Ów mały aminokwas zmienia połączenia poprzez mostki wodorowe wewnątrz enzymu, co prowadzi do powstania zmienionej nadstruktury. W następstwie tego mój enzym nie potrafi rozłożyć acetaldehydu. Jest nieaktywny.

Bez aktywnego enzymu utlenianie aldehydu octowego do kwasu octowego nie jest wprawdzie niemożliwe, ale przebiega bardzo, bardzo powoli. Prowadzi to do tego, że aldehyd octowy po zaledwie kilku łykach alkoholu gromadzi się w organizmie. A organizmowi to się nie podoba i reaguje mdłościami, przyśpieszonym biciem serca, a dodatkowo szczególnie zabawną reakcją: czerwienieniem się skóry, przede wszystkim na twarzy. Kiedy w młodości po raz pierwszy spróbowałam alkoholu, pomyślałam z początku, że mam alergię. Symptomy te są określane jako „asian flush[5]". Szczerze mówiąc, już to jest dla mnie wystarczającym powodem do abstynencji.

Muszę jednak przyznać, że raz byłam pijana (i nie zamierzam tego powtórzyć). Studiowałam w Moguncji, a to istna karnawałowa twierdza. Kolończyk pewnie na te słowa uśmiechnąłby się

z pobłażaniem, bo tam to dopiero się świętuje, ale karnawałowa noc w Moguncji jest nie do zniesienia na trzeźwo. Tak naprawdę nie uważam stanu upojenia za zły, kiedy wszyscy wokół też są pijani. Dorastałam w małym miasteczku, gdzie w weekendy oprócz picia właściwie nie było co robić. Ale karnawał to zupełnie inna liga picia – tego naprawdę nie można przetrwać na trzeźwo. Kiedy ludzie pytają mnie, dlaczego nie lubię karnawału, wyjaśniam, że nie mogę pić alkoholu. Ta odpowiedź spotyka się z całkowitym zrozumieniem: „Och, doskonale cię rozumiem. Bez alkoholu karnawał jest okropny".

W pierwszych latach zawsze w tym okresie uciekałam z Moguncji, jednak w końcu postanowiłam choć raz wziąć udział w całym karnawałowym pochodzie. Po kilku godzinach spędzonych w klubach wylądowaliśmy wieczorem, całkiem nieopatrznie, w barze pełnym „starych ludzi". Przypuszczalnie byli oni w tym samym wieku, co ja teraz. Ale nie mogłam tak po prostu stamtąd wyjść – zapłaciłam przecież za wstęp 10 euro, a dla studentki był to majątek. Postanowiłam więc: w końcu nadszedł ten czas – teraz się upiję.

Zamiar ten okazał się jednak bardziej skomplikowany, niż myślałam. Próbowałam różnych napojów alkoholowych, każdy po wypiciu jednego łyku oddawałam przyjaciołom, bo smak alkoholu wydawał mi się nie do zniesienia. W końcu przecież etanol jest organicznym rozpuszczalnikiem – i moim zdaniem właśnie tak smakuje. Wysokoprocentowy alkohol w dodatku strasznie piecze, ponieważ etanol łączy się z wrażliwymi na temperaturę receptorami. Nawiasem mówiąc, są to te same receptory, które uaktywniane są przez molekuły kapsaicyny, znajdujące się w papryce chilli. Owe receptory przekazują uczucie gorąca do mózgu, a ten odbiera to jako ból. Ale podczas gdy kapsaicyna imituje gorąco, etanol sprawia, że receptory wysokiej temperatury stają się jeszcze bardziej wrażliwe. Temperatura progowa zostaje obniżona, a jej receptory nagle odczuwają temperaturę ciała jako zbyt wysoką – i wówczas czujemy pieczenie na języku. Ale wróćmy do mojej próby upicia się.

Pół godziny i kilka łyków później – w sumie wypiłam połowę każdego napoju – musiałam natychmiast wyjść na świeże powietrze. Zaledwie zdążyłam odetchnąć, zwymiotowałam, co mnie samą zaskoczyło. Potem poczułam się w miarę dobrze i oświadczyłam

przyjaciołom, że teraz dopiero będzie wesoło! Niecałe dziesięć minut później chciałam już tylko znaleźć się w domu. Moi towarzysze, chichocząc, odprowadzili mnie tam, bo sama praktycznie nie byłam w stanie iść. W domu znów wymiotowałam. O godzinie 19.00 leżałam w łóżku. Tak właśnie bywa, kiedy jeden z enzymów odpowiedzialnych za trawienie alkoholu nie funkcjonuje u was prawidłowo.

Alkohol jest trujący nawet dla własnego „producenta", czyli drożdży. W czasie procesu fermentacji drożdże żywią się cukrem oraz węglowodanami, produkując przy tym m.in. etanol. Ale od zawartości alkoholu wynoszącej maksymalnie 15% komórki drożdży zaczynają się czuć źle. W końcu umierają z powodu własnej przemiany materii, co jest tragiczne… Wysokoprocentowy alkohol otrzymujemy tylko w procesie destylacji – jest koncentrowany w procesie odparowania.

Wprawdzie nie jest mi dany lekki rausz alkoholowy, ale trzeźwe spojrzenie na pijanych ludzi też jest niezłą zabawą. Co prawda grupa pijanych ludzi, niepodlegających żadnej kontroli, może się wydawać zjawiskiem niepokojącym, ale przyzwyczailiśmy się już do alkoholu i do wszystkiego, co z nim związane. To całkiem interesujące, jeśli wziąć pod uwagę, że tak chętnie potępiamy każdy stan upojenia w efekcie działania środków chemicznych.

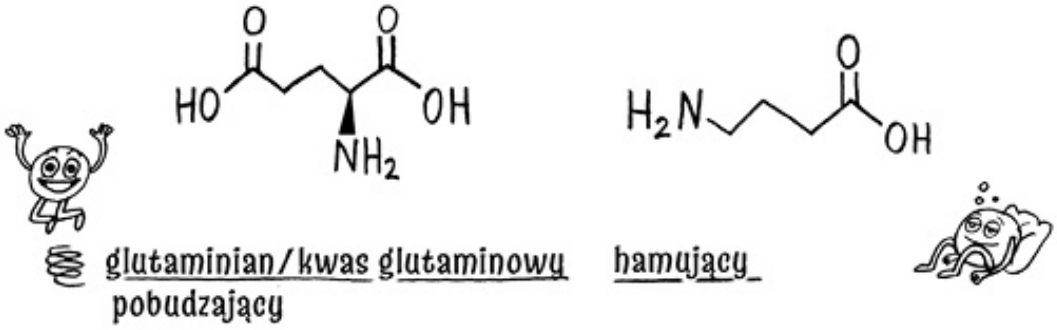
Jedno muszę przyznać: wieczór z winem jest po prostu weselszy niż wieczór bez wina. Przede wszystkim naszemu Dino wino najwyraźniej służy. Od około dwóch godzin prezentuje swój cięty humor, który na trzeźwo skrzętnie ukrywa za zasłoną milczenia. Dlaczego tak jest? Cóż takiego robi w naszym organizmie owa molekuła etanolu, że czujemy się bardziej pewni siebie i pozbawieni zahamowań? Przyjrzyjmy się chemii upojenia alkoholowego.

Etanol jest absorbowany w żołądku i jelicie cienkim i w ten sposób dostaje się do krwiobiegu. Większość jest dostarczona do wątroby, która zabiera się do jego enzymatycznego rozkładu. Mniejsza część

wydalona jest wraz z aldehydem octowym przez płuca w postaci znanego nam chuchu alkoholowego. Nieprzyjemne dla ewentualnych współtowarzyszy, ale praktyczne jako wskaźnik dla policji. Wszystkie te procesy są niczym innym jak tylko rozsądnym działaniem organizmu, który chce jak najszybciej wydalić alkohol. Z reguły jednak nie daje rady iść w sukurs z przeciętną prędkością picia, więc nadmiar etanolu wraz z krwią dociera do mózgu. I tak naprawdę dopiero tu zaczyna się zabawa.

Alkohol działa na mózg podobnie jak środki uspokajające bądź odurzające. Brzmi śmiesznie, jeśli przypomnimy sobie pijanych, hałasujących i tańczących na stole ludzi. Jednak choć pijany człowiek jest pozbawiony wszelkich zahamowań, tak naprawdę alkohol neuronalnie działa hamująco. Dokładnie rzecz biorąc, wpływa na komunikację między naszymi komórkami nerwowymi. A one komunikują się poprzez neuroprzekaźniki (przypomnijmy sobie rozdział 7 i serotoninę). Chcę wam przedstawić dwa kolejne neuroprzekaźniki, abyście w przyszłości lepiej rozumieli wasze pijane „ja".

Molekułę o nazwie **glutaminian** (albo **kwas glutaminowy**) znamy z ostatniego rysunku; jest to jeden z dwudziestu aminokwasów tworzących proteiny. Glutaminian działa jednak jako neuroprzekaźnik, a konkretnie **neuroprzekaźnik pobudzający.** Jeśli połączy się ze swoim receptorem, komunikacja między komórkami nerwowymi będzie zaktywizowana i zostanie wysłanych więcej sygnałów.



Dotychczas mówiliśmy o receptorach mózgowych – przypomnijcie sobie porównanie z parkingiem. Teraz przyjrzyjmy się tym

receptorom dokładniej – w kontekście upojenia alkoholowego. Jak wiele innych części naszego organizmu, także receptory składają się z białek. Możemy je sobie wyobrazić jako rodzaj kanału albo tunelu, który zwykle jest zamknięty. Ale jeśli właściwy neuroprzekaźnik połączy się z receptorem, owe kanały otworzą się na krótką chwilę i jony (jak jony sodu, potasu, wapnia bądź też chlorkowe) mogą przezeń przewędrować. Podobnie jak w baterii naszej komórki, w efekcie owego wędrowania naładowanych elektrycznie cząsteczek powstaje napięcie, które sprawi, że komórki nerwowe będą w stanie wysyłać sygnały elektryczne. Jeśli jony są naładowane dodatnio, czyli są to kationy, komórka nerwowa wysyła sygnały. Tak jest w przypadku receptora glutaminianu. Jeśli jony są naładowane ujemnie, czyli są to aniony, sygnały są tłumione. Tak się dzieje w przypadku receptora GABA.

Teraz jednak na scenę wkracza etanol – i robi bałagan. Molekuła etanolu oddziałuje zarówno na receptor glutaminianu, jak i na receptor GABA. W receptorze glutaminianu strumień jonów jest zahamowany. Pobudzające działanie glutaminianu jest więc zmniejszone w wyniku działania alkoholu, a komórki nerwowe wysyłają mniej sygnałów. Zaś w receptorze GABA etanol doprowadza do tego, że kanały są otwarte dłużej i płynie przez nie więcej jonów. Hamujące działanie GABA jest więc wzmocnione przez alkohol. To prowadzi też do tego, że komórki nerwowe wysyłają mniej sygnałów.

Alkohol sprawia więc, że nasza głowa działa dwa razy wolnej. To tłumaczyłoby, dlaczego skłania nas do tańczenia na stole – mniejsza aktywność mózgu hamuje społeczne obawy i lęki oraz ogólną samokontrolę. Obniżona aktywność mózgu przenosi się też na nasze zdolności motoryczne. Jeśli nasze neurony komunikują się ze sobą w ograniczonym zakresie, nie wychodzą nam za dobrze takie proste sprawy jak utrzymanie równowagi. Poza tym zaczynamy bełkotać i reagujemy z opóźnieniem. Przy uśpionej aktywności mózgu niekoniecznie podejmujemy słuszne decyzje – jeśli byliście kiedyś pijani, z pewnością macie własne anegdoty na potwierdzenie tej tezy. Ogólnie rzecz biorąc, myśli się wtedy mniej, mniej się postrzega i mniej pamięta.

W normalnych okolicznościach GABA wraz ze swoim hamującym działaniem jest bardzo ważnym neuroprzekaźnikiem. Pomaga nam uporządkować otrzymywane informacje i rozróżniać bodźce. Bez jej hamującego działania jasne myślenie byłoby mocno utrudnione, zginęlibyśmy w powodzi przeróżnych bodźców. Dlatego też lekarstwa, które podwyższają koncentrację GABA, podaje się przy epilepsji. Czasem podejrzewam, że pijany człowiek z uśpioną aktywnością mózgu być może myśli całkiem jasno – ale po prostu mało. Osobiście nie mogę tego prześledzić, ale obserwuję, że pijani co rusz powtarzają jeden i ten sam pomysł czy też wracają do tego samego odkrycia.

To jednak nie koniec wpływu alkoholu na nasz mózg. Etanol powoduje też podwyższone wydzielanie wspaniałego, a jednocześnie złośliwego neuroprzekaźnika: **dopaminy**. Zakres działania tej molekuły jest bardzo szeroki: ruch, nauka, uwaga i emocje – wszystko to związane jest z dopaminą. To jeden z centralnych neuroprzekaźników tzw. systemu nagrody: jeśli robimy coś, co sprawia nam radość, wydziela się dopamina – a my chcemy jej coraz więcej. Nadmiar dopaminy prowadzi do zachowań impulsywnych, uzależnień, a nawet odgrywa ważną rolę przy schizofrenii. Jeśli dopamina jest już wydzielona, należy się kontrolować, aby pod wpływem upojenia szczęściem co chwila nie uzupełniać kieliszka z winem. Jest to szczególnie trudne, ponieważ część mózgu odpowiedzialna za samokontrolę jest w tym momencie niejako sparaliżowana przez alkohol. Zwykle dopiero następnego dnia żałujemy, że wypiliśmy za dużo.

Matthias, Christine i Torben są tylko lekko wstawieni. Przecież zjedliśmy obfitą kolację. Ponieważ etanol dostaje się do krwiobiegu przez żołądek i jelito cienkie, pełny żołądek może spowolnić proces upicia się. Chyba że ktoś cierpi na syndrom **fermentacji jelitowej** – niewiarygodna sprawa, w medycynie zanotowano tylko kilka takich przypadków. Jeden z nich chciałabym wam opisać:

Historia zaczyna się w 2004 roku, kiedy pewien Amerykanin w średnim wieku po operacji stopy i leczeniu pooperacyjnym,

polegającym na przyjmowaniu antybiotyków, stwierdził u siebie coś dziwnego: a mianowicie nagle o wiele gorzej zaczął tolerować alkohol. Po dwóch małych piwach był kompletnie pijany. Mało tego – czasami czuł się pijany, choć niczego nie wypił! Jego żona, pielęgniarka, zaczęła dokumentować poziom alkoholu w powietrzu wydychanym przez męża za pomocą alkomatu: 3 promile nie należały do rzadkości. W Niemczech już 1,1 promila oznacza całkowitą niezdolność do prowadzenia pojazdów, a względny poziom wynosi 0,3 promila. W USA górna granica przy jeździe samochodem wynosi 0,8 promila. Nic więc dziwnego, że ów Amerykanin miał ogromne trudności. Para nie potrafiła wyjaśnić tego stanu rzeczy i zaczęła szukać ukrytego alkoholu – w czekoladkach i innych produktach. Bez skutku. Swoją drogą, musieli sobie naprawdę ufać, skoro żona nie podejrzewała, że mąż popija w ukryciu. W 2009 roku mężczyzna w końcu trafił na pogotowie – poziom alkoholu w jego krwi wynosił 3,7 promila! Jest to poziom zagrażający życiu. Ale człowiek ten nie wypił nawet kropli alkoholu, przynajmniej tak twierdził. Lekarze oczywiście nie uwierzyli w ani jedno jego słowo, zakładając, że mają do czynienia z alkoholikiem. Jednak rok później Amerykanin znów znalazł się w szpitalu – z powodu konieczności przeprowadzenia kolonoskopii. Wówczas lekarze odkryli coś osobliwego – pacjent miał w organizmie grzyba, a konkretnie drożdże o nazwie *saccharomyces cerevisiae,* znanego także jako drożdże piekarnicze albo drożdże piwne. Drożdży piwnych, jak sama nazwa wskazuje, używa się do warzenia piwa. W naszym systemie trawiennym grzyb ten jednak nie występuje. Czy ów człowiek miał w brzuchu browar? To nadaje zupełnie inne znaczenie pojęciu: „brzuch piwny”.

Lekarze zbadali sprawę dokładniej. W kwietniu 2010 roku mężczyznę zabrano na 24 godziny do szpitala w celu przeprowadzenia badań. Oczywiście pielęgniarze obszukali pacjenta szczególnie dokładnie pod kątem ewentualnej próby szmuglowania alkoholu. Wszyscy ciągle jeszcze byli sceptyczni. Lekarze podali mężczyźnie wodę z cukrem oraz zaopatrzyli go w przeróżne przekąski zawierające węglowodany. I rzeczywiście: po południu człowiek był kompletnie pijany – z 1,2 promilami alkoholu we krwi.

Jego piwne drożdże zmieniły węglowodany w etanol. Syndrom fermentacji jelitowej – bardzo trafnie nazwano ten fenomen. Podobne przypadki są tak rzadkie, że niemal nie istnieją na ten temat dokładniejsze badania naukowe. O ile wiem, dziś ów Amerykanin czuje się już dobrze, a problem opanowano w drodze leczenia fungicydami oraz odżywania ograniczającego węglowodany. Ja w każdym razie cieszę się, że nie cierpię na podobną przypadłość.

– Mai – mówi Dino – naprawdę uważam za godne uwagi to, co robisz. Zachwycasz ludzi chemią… Ale muszę powiedzieć ci coś krytycznego.

Christine z zaciekawieniem wychyla się do przodu. Najpierw dowcipy, a teraz krytyka? Alkohol działa cuda.

– Nie możesz motywować młodych ludzi tak na ślepo – dodaje Torben. – Przecież nie wszyscy mogą studiować chemię. To byłaby katastrofa!

Śmiejemy się, ale wiem, że Torben mówi poważnie. I z powagą traktuję jego słowa.

Zachwycać wszystkich chemią – to jeden z moich celów, do których dążę z pełnym przekonaniem. Dostaję wiele wiadomości czy też komentarzy, dzięki którym czuję się szczęśliwa. Młodzi ludzie piszą, że nigdy nie interesowali się naukami przyrodniczymi, nie mówiąc już o chemii, ale po obejrzeniu moich filmów naprawdę w tym zasmakowali. Niektórzy deklarują, że wkrótce rozpoczną kształcenie w tym kierunku, i dodają, że to ja byłam dla nich motywacją oraz inspiracją. Takie wiadomości są z kolei ogromną motywacją dla mnie.

Ale do czego dążę? „Niepotrzebny jest nam MINT!” – słyszę to w kółko. MINT to skrót oznaczający matematykę, informatykę, nauki przyrodnicze i technikę (czyli wszystko to, co sprawia przyjemność). W obszarze MINT ciągle brakuje fachowców! Brak fachowców nie jest szczególnie przekonującą motywacją, sami przyznacie. Jednak sytuacja na rynku pracy zawsze może się zmienić. Od lat chemia zyskuje ponad 10 000 studentów. W 2017 roku studia w tym kierunku zaczęło ponad 11 000 młodych ludzi – to więcej niż

kiedykolwiek dotąd. W tym samym roku ponad 2000 chemiczek i chemików uzyskało tytuł doktora. Praktykanci wprawdzie wciąż są bardzo poszukiwani na rynku, ale jeśli chodzi o chemików z tytułem doktora, pracowników nie brakuje.

– Wcale nie chcę namawiać ludzi do nauki chemii czy też jej studiowania – mówię. – To jedynie efekt uboczny mojej właściwej misji.

– Misja Mai! – wołają jednocześnie Matthias i Christine i wznoszą toast.

Oboje czasami trochę mi dokuczają, mówiąc, że „jestem na misji". To brzmi nieco patetycznie i jak na mój gust zbyt poważnie, chociaż podchodzę do tego całkiem poważnie. Oboje o tym wiedzą i naprawdę mnie wspierają.

Kiedy inni mówią, że potrzebujemy więcej MINT, ponieważ brakuje nam fachowców, myślę, że to trochę krótkowzroczne. Czy jeśli stanowiska związane z tymi dziedzinami nauki szybko zostałyby obsadzone, nie byłoby potrzeby zachwycania młodych ludzi pięknem owych dziedzin? Czy nie trzeba przekonywać nikogo do chemii, bo na rynku pracy jest już dość chemików z doktoratami? Bzdura. Mówię, że potrzebujemy więcej MINT, ponieważ matematyka, informatyka, nauki przyrodnicze i technika są tak ważną częścią naszego życia, że po prostu warto się w nich dobrze orientować! Ale nie trzeba ich zaraz studiować.

Wszystko jedno, czy wybraliście w szkole chemię, czy nie (wybaczam). Nieważne też, jeśli uznacie za ciekawszą fizykę (również wybaczam, ale powinniście wiedzieć, że granice między naukami przyrodniczymi dla początkującego są złudne). Chcecie zostać stolarzami, studiować historię sztuki? Super! Bo chemia może być takim samym hobby jak piłka nożna albo gra na gitarze. Każdy powinien wiedzieć coś więcej na temat chemii!

Dzięki tej książce bardzo dużo się nauczyliście – o modelu cząsteczkowym i termodynamice, o regule oktetu, o wiązaniach chemicznych i mostkach wodorowych, o utlenianiu i redukcji, o neuroprzekaźnikach i hormonach, o związkach powierzchniowo czynnych i fluorkach, o teobrominie i kofeinie – mogłabym raz jeszcze opowiedzieć historię mojego dzisiejszego dnia, jedynie

przytaczając inne przykłady z chemii. To samo można zrobić z biologią i fizyką. Bo jeśli chodzi o szczegóły, nie jest istotne, co z tej książki będzie dla was ważne, jeśli tylko zarazicie się duchem nauki. Tak naprawdę to właśnie jest moja misja: więcej ducha nauki! Moją pasją jest chemia, ale nauka to o wiele więcej. Wszystkie nauki jednoczy ten sam duch. Pozwólcie, że pokrótce wyjaśnię wam, na czym to polega.

Duch nauki znaczy tyle co nieprzyjmowanie niczego jako rzeczy oczywistej i ciągłe obserwowanie świata, tak jakby widziało się go po raz pierwszy. To szukanie czegoś cudownego w tym, co już znamy. To ta chwila, w której trzymając w rękach filiżankę kawy, stwierdzamy: Hm, to wszystko to przecież cząsteczki. Czyste ekstremum!

Duch nauki oznacza znajdywanie piękna we wnętrzu każdej rzeczy, patrzenie na kwiat oczami Richarda Feynmana. To także dostrzeganie faktu, że wraz z kolejnym naukowym odkryciem pojawia się jeszcze więcej pytań, więcej cudów i więcej piękna.

Duch nauki oznacza radość z kontrolowanych, randomizowanych badań, w czasie których badacze „oślepiają" samych siebie, ponieważ wiedzą, że nasze osobiste oczekiwania ciągle mącą nasze krytyczne myślenie.

Duch nauki oznacza ciągłą, niemożliwą do zaspokojenia ciekawość, której nie może powstrzymać nawet najbardziej śmierdząca molekuła tego świata.

Duch nauki oznacza radość z kompleksowości i umiejętności odrzucania prostych odpowiedzi. Kto odkryje dla siebie chemię i dostrzeże przyjemność rozumienia chemicznych współzależności, nie tylko wzbogaci swoje życie, ale chcąc nie chcąc, będzie też rozwijał przyjemność z odkrywania złożoności.

Duch nauki oznacza miłość do liczb i faktów. A także świadomość własnych uprzedzeń, które mamy wszyscy, jak też krytyczne spojrzenie na nasze osobiste przekonania oraz gotowość do ich zmiany w każdej chwili, jeśli tylko fakty będą tego wymagały. Bo faktów i osobistych przekonań nie należy taktować tak samo. Przysłuchując się jakiejś politycznej debacie, łapię się czasem za głowę i pytam samą siebie: Dlaczego nie można być pełnym emocji

– i mimo wszystko rzeczowym? Kiedy zaś obserwuję moich niektórych kolegów naukowców, pytam samą siebie: Dlaczego nie można być człowiekiem rzeczowym – i mimo to pełnym namiętności? Rzeczowość nie musi oznaczać braku emocjonalności. A to, czego się domagam, to namiętność dla rzeczowości!

– I za to wypiję – mówi Christine i wznosi swój kieliszek. – Za więcej namiętności dla rzeczowości!

– Za więcej namiętności dla rzeczowości! – powtarzamy wszyscy.

Nasze kieliszki dźwięczą, uderzane jeden o drugi zupełnie jak zderzające się atomy. Fale dźwiękowe wirują w pokoju, a molekuły tańczą wokół naszych głów.

5 Azjatyckie wypieki – przyp. tłum.

ZAŁĄCZNIK

Literatura

Podano najważniejsze źródła, zwłaszcza te, których nie można znaleźć w standardowych podręcznikach.

Kolejność odpowiada kolejności przytoczenia źródła w tekście.

ROZDZIAŁ 1

Lewy, A. J., Wehr, T. A., Goodwin, F. K., Newsome, D. A. & Markey, S. P. (1980). *Light suppresses melatonin secretion in humans*. „Science", 210(4475), 1267–1269.

Herman, J. P., McKlveen, J. M., Ghosal, S., Kopp, B., Wulsin, A., Makinson R., … & Myers, B. (2016). *Regulation of the hypothalamic-pituitaryadrenocortical stress response*. „Comprehensive Physiology", 6(2), 603.

McEwen, B. S. & Stellar, E. (1993). *Stress and the individual: mechanisms Leading to disease*. „Archives of internal medicine", 153(18), 2093–2101.

Wilhelm, I., Born, J., Kudielka, B. M., Schlotz, W. & Wust, S. (2007). *Is the cortisol awakening rise a response to awakening?* „Psychoneuroendocrinology", 32(4), 358–366.

Wüst, S., Wolf, J., Hellhammer, D. H., Federenko, I., Schommer, N. & Kirschbaum C. (2000). *The cortisol awakening response – normal values and confounds.* „Noise Health", 7, 77–85.

Wren, M. A., Dauchy, R. T., Hanifin, J. P., Jablonski, M. R., Warfield, B., Brainard G. C., … & Rudolf, P. (2014). *Effect of different spectral transmittances through*

tinted animal cages on circadian metabolism and physiology in Sprague-Dawley rats. „Journal of the American Association for Laboratory Animal Science", 53(1), 44–51.

van Geijlswijk, I. M., Korzilius, H. P. & Smits, M. G. (2010). *The use of exogenous melatonin in delayed sleep phase disorder: a meta-analysis*. „Sleep", 33(12), 1605–1614.

Claustrat, B. & Leston, J. (2015). *Melatonin: Physiological effects in humans*. „Neurochirurgie", 61(2–3), 77–84.

Zisapel, N. (2018). *New perspectives on the role of melatonin in human sleep circadian rhythms and their regulation*. „British journal of pharmacology".

Lovallo, W. R., Whitsett, T. L., Al'Absi, M., Sung, B. H., Vincent, A. S. & Wilson M. F. (2005). *Caffeine stimulation of cortisol secretion across the waking hours in relation to caffeine intake levels*. „Psychosomatic medicine", 67(5), 734.

Huang, R. C. (2018). *The discoveries of molecular mechanisms for the circadian rhythm: The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine*. „Biomedical journal", 41(1), 5–8.

Stothard, E. R., McHill, A. W., Depner, C. M., Birks, B. R., Moehlman, T. M., Ritchie, H. K., … & Wright Jr, K. P. (2017). *Circadian entrainment to the natural light-dark cycle across seasons and the weekend*. „Current Biology", 27(4), 508–513.

ROZDZIAŁ 3

Meyer-Luckel, H., Paris, S. & Ekstrand, K. (eds.) *Karies: Wissenschaft und Klinische Praxis*. Georg Thieme Verlag, 2012.

Choi, A. L., et al. *Developmental fluoride neurotoxicity: a systematic review And meta-analysis*. „Environmental health perspectives" 120.10 (2012): 1362.

Bashash, Morteza, et al. *Prenatal fluoride exposure and cognitive outcomes in children at 4 and 6–12 years of age in Mexico*. „Environmental health perspectives" 125.9 (2017): 097017.

EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). (2013). *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fluoride*. „EFSA Journal" 11(8), 3332.

ROZDZIAŁ 4

Tremblay, M. S., Colley, R. C., Saunders, T. J., Healy, G. N. & Owen, N. (2010). *Physiological and health implications of a sedentary lifestyle*. „Applied physiology nutrition, and metabolism", 35(6), 725–740.

Baddeley, B., Sornalingam, S. & Cooper, M. (2016). *Sitting is the new smoking: where do we stand?* „Br J Gen Pract", 66(646), 258–258. (Cytowane tutaj tłumaczenie angielskiego oryginału jest autorstwa Mai Thi Nguyen-Kim).

World Health Organization (2017). Noncommunicable diseases: progress monitor 2017.

Forouzanfar, M. H., Afshin, A., Alexander, L. T., Anderson, H. R., Bhutta, Z. A. Biryukov, S., … & Cohen, A. J. (2016). *Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015.* „The Lancet", 388(10053), 1659–1724.

Chau, J. Y., Bonfiglioli, C., Zhong, A., Pedisic, Z., Daley, M., McGill, B. & Bauman A. (2017). *Sitting ducks face chronic disease: an analysis of newspaper coverage of sedentary behaviour as a health issue in Australia 2000–2012*.

„Health Promotion Journal of Australia", 28(2), 139–143.

Ekelund, U., Steene-Johannessen, J., Brown, W. J., Fagerland, M. W., Owen, N. Powell, K. E., … & Lancet Sedentary Behaviour Working Group. (2016). *Does physical activity attenuate, or even eliminate, the detrimental association of sitting time with mortality? A harmonised meta-analysis of data from more than 1 million men and women*. „The Lancet", 388(10051), 1302–1310.

O'Donovan, G., Lee, I. M., Hamer, M. & Stamatakis, E. (2017). *Association of „weekend warrior" and other leisure time physical activity patterns with risksfor all-cause, cardiovascular disease, and cancer mortality*. „JAMA internal medicine", 177(3), 335–342.

Martin, A., Fitzsimons, C., Jepson, R., Saunders, D. H., van der Ploeg, H. P. Teixeira, P. J., … & Mutrie, N. (2015). *Interventions with potential to reduce sedentary time in adults: systematic review and metaanalysis*. „Br J Sports Med", 49(16), 1056–1063.

Stamatakis, E., Pulsford, R. M., Brunner, E. J., Britton, A. R., Bauman, A. E. Biddle, S. J. & Hillsdon, M. (2017*). Sitting behaviour is not associated with incident diabetes over 13 years: the Whitehall II cohort study*. „Br J Sports Med", bjsports-2016.

Marmot, M. & Brunner, E. (2005). *Cohort profile: the Whitehall II study*. „International journal of epidemiology", 34(2), 251–256.

Biswas, A., Oh, P. I., Faulkner, G. E., Bajaj, R. R., Silver, M. A., Mitchell, M. S. & Alter, D. A. (2015). *Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis*. „Annals of internal medicine", 162(2), 123–132.

Van Uffelen, J. G., Wong, J., Chau, J. Y., van der Ploeg, H. P., Riphagen, I., Gilson N. D., … & Gardiner, P. A. (2010). *Occupational sitting and health risks: a systematic review*. „American journal of preventive medicine" 39(4), 379–388.

Stamatakis, E., Coombs, N., Rowlands, A., Shelton, N. & Hillsdon, M. (2014). *Objectively-assessed and self-reported sedentary time in relation to multiple socioeconomic status indicators among adults in England: a cross-sectional study*. „BMJ open", 4(11), e006034.

Grontved, A. & Hu, F. B. (2011). *Television viewing and risk of type 2 diabetes cardiovascular disease, and all-cause mortality: a meta-analysis*. „JAMA" 305(23), 2448–2455.

Stamatakis, E., Hillsdon, M., Mishra, G., Hamer, M. & Marmot, M. G. (2009). *Television viewing and other screen-based entertainment in relation to multiple socioeconomic status indicators and area deprivation: The Scottish Health Survey 2003*. „Journal of Epidemiology & Community Health", jech-2008.

Hamer, M., Stamatakis, E. & Mishra, G. D. (2010). *Television-and screen-based activity and mental well-being in adults*. „American journal of preventive medicine" 38(4), 375–380.

Pearson, N. & Biddle, S. J. (2011). *Sedentary behavior and dietary intake in children adolescents, and adults: a systematic review*. „American journal of preventive medicine", 41(2), 178–188.

Scully, M., Dixon, H. & Wakefield, M. (2009). *Association between commercial television exposure and fast-food consumption among adults*. „Public health nutrition", 12(1), 105–110.

ROZDZIAŁ 5

Liljenquist, K., Zhong, C. B. & Galinsky, A. D. (2010*). The smell of virtue: Clean scents promote reciprocity and charity.* „Psychological Science", 21(3), 381–383.

Vohs, K. D., Redden, J. P. & Rahinel, R. (2013). *Physical order produces healthy choices, generosity, and conventionality, whereas disorder produces creativity*. „Psychological Science", 24(9), 1860–1867.

Open Science Collaboration. (2015). *Estimating the reproducibility of psychological science*. „Science", 349(6251), aac4716.

Price, D. D., Finniss, D. G. & Benedetti, F. (2008). *A comprehensive review of the placebo effect: recent advances and current thought*. „Annual Review of Psychology", 59, 565–590.

Jewett, D. L., Fein, G. & Greenberg, M. H. (1990). *A double-blind study of symptom provocation to determine food sensitivity*. „New England Journal of Medicine" 323(7), 429–433.

Benedetti, F., Lanotte, M., Lopiano, L. & Colloca, L. (2007). *When words are painful: unraveling the mechanisms of the nocebo effect*. „Neuroscience" 147(2), 260–271.

ROZDZIAŁ 6

Yogeshwar, R. What's in it for me? Patrz: https://www.spektrum.de/kolumne/und-was-bringts-mir/1563312 lub https://www.meta-magazin.org/2018/05/05/whats-in-for-me-oder-wieso-das-grassierende-kraemerdenken-diewissenschaft-bedroht/

Rohrig, B. (2015). *Smartphones*. „ChemMatters", 11.

Buchmann, I. (2001). *Batteries in a portable world: a handbook on rechargeable batteries for non-engineers.* Richmond: Cadex Electronics.

Braga, M. H., M Subramaniyam, C., Murchison, A. J. & Goodenough, J. B. (2018). *Nontraditional, Safe, High Voltage Rechargeable Cells of Long Cycle Life*. „Journal of the American Chemical Society", 140(20), 6343–6352.

ROZDZIAŁ 7

Asberg, M., Thoren, P., Traskman, L., Bertilsson, L. & Ringberger, V. (1976). *Serotonin depression – a biochemical subgroup within the affective disorders?* „Science", 191(4226), 478–480.

Song, F., Freemantle, N., Sheldon, T. A., House, A., Watson, P., Long, A. & Mason, J. (1993). *Selective serotonin reuptake inhibitors: meta-analysis of efficacy and acceptability*. „BMJ", 306(6879), 683–687.

Owens, M. J. & Nemeroff, C. B. (1994). *Role of serotonin in the pathophysiology of depression: focus on the serotonin transporter*. „Clinical chemistry", 40(2) 288–295.

Whittington, C. J., Kendall, T., Fonagy, P., Cottrell, D., Cotgrove, A. & Boddington E. (2004). *Selective serotonin reuptake inhibitors in childhood depression: systematic review of published versus unpublished data*. „The Lancet" 363(9418), 1341–1345.

Fergusson, D., Doucette, S., Glass, K. C., Shapiro, S., Healy, D., Hebert, P. & Hutton, B. (2005). *Association between suicide attempts and selective serotonin reuptake inhibitors: systematic review of randomised controlled trials*. „BMJ", 330(7488), 396.

Risch, N., Herrell, R., Lehner, T., Liang, K. Y., Eaves, L., Hoh, J., … & Merikangas K. R. (2009). *Interaction between the serotonin transporter gene (5-HTTLPR) stressful life events, and risk of depression: a meta-analysis*. „JAMA" 301(23), 2462–2471.

Karg, K., Burmeister, M., Shedden, K. & Sen, S. (2011). *The serotonin transporter promoter variant (5-HTTLPR), stress, and depression meta-analysis revisited: evidence of genetic moderation*. „Archives of general psychiatry", 68(5), 444–454.

Aguilar, F., Autrup, H., Barlow, S., Castle, L., Crebelli, R., Dekant, W., … & Gurtler, R. (2008). *Assessment of the results of the study by McCann et al. (2007) on the effect of some colours and sodium benzoate on children's behaviour*. „The EFSA Journal", 660, 1–54.

McCann, D., Barrett, A., Cooper, A., Crumpler, D., Dalen, L., Grimshaw, K., … & Sonuga-Barke, E. (2007). *Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised double-blinded, placebo-controlled trial*. „The Lancet", 370(9598), 1560–1567.

Schab, D. W. & Trinh, N. H. T. (2004). *Do artificial food colors promote hyperactivity in children with hyperactive syndromes? A meta-analysis of double- blind placebo-controlled trials*. „Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics", 25(6), 423–434.

Watson, R. (2008). *European agency rejects links between hyperactivity and food additives*. „BMJ: British Medical Journal", 336(7646), 687. *EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources (ANS). (2016). Scientific Opinion on the re-evaluation of benzoic acid (E 210), sodium benzoate (E 211), potassium*

benzoate (E 212) and calcium benzoate (E 213) as food additives. „EFSA Journal", 14(3), 4433.

ROZDZIAŁ 8

Brief von Erick M. Carreira: *Hier lasst sich die Originalquelle nicht mehr rekonstruieren. Der Brief wurde irgendwann geleakt und kursiert seitdem im Netz.* (Tu źródło oryginalne jest już niemożliwe do zrekonstruowania. Treść listu kiedyś przedostała się do wiadomości publicznej i od tej chwili krąży w sieci. Fotografię można znaleźć pod linkiem: http://www.chemistry-blog com/tag/carreira-letter/; cytowane tu tłumaczenie wykonała Mai Thi Nguyen-Kim).

ROZDZIAŁ 9

Zeng, X.-N., et al. *Analysis of characteristic odors from human male axillae*. „Journal of Chemical Ecology" 17.7 (1991): 1469–1492.

Fredrich, E., Barzantny, H., Brune, I. & Tauch, A. (2013). *Daily battle against body odor: towards the activity of the axillary microbiota*. „Trends in Microbiol" 21 (6), 305–312.

The Chemistry of Body Odours – Sweat, Halitosis, Flatulence & Cheesy Feet. Compound Interest, 14. April 2014. Patrz: https://www.compoundchem. com/2014/04/07/the-chemistry-of-body-odours-sweat-halitosis-flatulencecheesy-feet/

Suarez, F. L., Springfield, J. & Levitt, M. D. (1998). *Identification of gases responsible for the odour of human flatus and evaluation of a device purported to reduce this odour*. „Gut", 43(1), 100–104.

Fromm, E. & Baumann, E. (1889). *Ueber Thioderivate der Ketone*. „Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft", 22(1), 1035–1045.

Baumann, E., & Fromm, E. (1889). *Ueber Thioderivate der Ketone*. „Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft", 22(2), 2592–2599.

Krewski, D., Yokel, R. A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., … & Rondeau, V. (2007). *Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide*. „Journal of Toxicology and Environmental Health", część B, 10(S1), 1–269.

Bundesinstitut fur Risikobewertung (2014). *Aluminiumhaltige Antitranspirantien tragen zur Aufnahme von Aluminium bei. Stellungnahme* Nr. 007/2014.

Patrz: http://www. bfr. bund. de/cm/343/aluminiumhaltigeantitranspirantien-tragen-zur-aufnahme-von-aluminium-bei.pdf.

Callewaert, C., De Maeseneire, E., Kerckhof, F. M., Verliefde, A., Van de Wiele T. & Boon, N. (2014). *Microbial odor profile of polyester and cotton clothes after a fitness session*. „Applied and environmental microbiology", AEM-01422.

ROZDZIAŁ 10

Hampson, N. B., Pollock, N. W. & Piantadosi, C. A. (2003). *Oxygenated water and athletic performance*. „JAMA", 290(18), 2408–2409.

Eweis, D. S., Abed, F. & Stiban, J. (2017*). Carbon dioxide in carbonated beverages induces ghrelin release and increased food consumption in male rats: Implications on the onset of obesity*. „Obesity research & clinical practice", 11(5) 534–543.

Vartanian, L. R., Schwartz, M. B. & Brownell, K. D. (2007). *Effects of soft drink consumption on nutrition and health: a systematic review and meta-analysis*. „American journal of public health", 97(4), 667–675.

Mourao, D. M., Bressan, J., Campbell, W. W. & Mattes, R. D. (2007). *Effects of food form on appetite and energy intake in lean and obese young adults*. „International journal of obesity", 31(11), 1688.

ROZDZIAŁ 11

Baggott, M. J., Childs, E., Hart, A. B., De Bruin, E., Palmer, A. A., Wilkinson J. E. & De Wit, H. (2013). *Psychopharmacology of theobromine in healthy volunteers*. „Psychopharmacology", 228(1), 109–118.

Judelson, D. A., Preston, A. G., Miller, D. L., Munoz, C. X., Kellogg, M. D. & Lieberman, H. R. (2013). *Effects of theobromine and caffeine on mood and vigilance*. „Journal of clinical psychopharmacology", 33(4), 499–506.

Mumford, G. K., Evans, S. M., Kaminski, B. J., Preston, K. L., Sannerud, C. A. Silverman, K. & Griffiths, R. R. (1994). *Discriminative stimulus and subjective effects of theobromine and caffeine in humans*. „Psychopharmacology", 115(1–2), 1–8.

Li, X., Li, W., Wang, H., Bayley, D. L., Cao, J., Reed, D. R., … & Brand, J. G. (2006). *Cats lack a sweet taste receptor*. „The Journal of nutrition", 136(7), 1932S-1934S.

Li, X., Glaser, D., Li, W., Johnson, W. E., O'brien, S. J., Beauchamp, G. K. & Brand, J. G. (2009). *Analyses of sweet receptor gene (Tas1r2) and preference for sweet stimuli in species of Carnivora*. „Journal of Heredity", 100(S1), 90 –100.

Huth, P. J. (2007). *Do ruminant trans fatty acids impact coronary heart disease risk?* „Lipid technology", 19(3), 59–62.

Joint, F. A. O. & Consultation, W. E. (2009). *Fats and fatty acids in human nutrition*. „Ann Nutr Metab", 55(1–3), 5–300.

Nishida, C. & Uauy, R. (2009). *WHO Scientific Update on health consequences of trans fatty acids: introduction*. „European journal of clinical nutrition", 63(S2), 1– 4.

Simopoulos, A. P., Leaf, A. & Salem Jr, N. (1999). *Essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids*. „Annals of Nutrition and Metabolism", 43(2), 127–130.

Servick, K. (2018). *The war on gluten*.

Catassi, C., Bai, J. C., Bonaz, B., Bouma, G., Calabro, A., Carroccio, A., … & Francavilla, R. (2013). *Non-celiac gluten sensitivity: the new frontier of gluten related disorders*. „Nutrients", 5(10), 3839–3853.

Bomgardner, M. M. (2016). *The problem with vanilla*. „Chemical & Engineering News", 94(36), 38–42.

ROZDZIAŁ 12

Na temat wywiadu z Richardem Feynmanem na YouTube znajduje się wideo pod linkiem: https:// youtu.be/ZbFM3rn4ldo; tłumaczenie cytowanego tu fragmentu pochodzi od Mai Thi Nguyen-Kim.

Marazziti, D. & Canale, D. (2004). *Hormonal changes when falling in love*. „Psychoneuroendocrinology", 29(7), 931–936.

Mercado, E. & Hibel, L. C. (2017). *I love you from the bottom of my hypothalamus: The role of stress physiology in romantic pair bond formation and maintenance*. „Social and Personality Psychology Compass", 11(2), e12298.

Cohen, S., Janicki-Deverts, D., Turner, R. B. & Doyle, W. J. (2015). *Does hugging provide stress-buffering social support? A study of susceptibility to upper*

respiratory infection and illness. „Psychological science", 26(2), 135–147.

Murphy, M. L., Janicki-Deverts, D. & Cohen, S. (2018). *Receiving a hug is associated with the attenuation of negative mood that occurs on days with interpersonal conflict*. „PloS one", 13(10), e0203522.

Pedersen, C. A. & Prange, A. J. (1979). *Induction of maternal behavior in virgin rats after intracerebroventricular administration of oxytocin*. „Proceedings of the National Academy of Sciences", 76(12), 6661–6665.

Cho, M. M., DeVries, A. C., Williams, J. R. & Carter, C. S. (1999). *The effects of oxytocin and vasopressin on partner preferences in male and female prairie voles (Microtus ochrogaster)*. „Behavioral neuroscience", 113(5), 1071.

Williams, J. R., Insel, T. R., Harbaugh, C. R. & Carter, C. S. (1994). *Oxytocin administered centrally facilitates formation of a partner preference in female prairie voles (Microtus ochrogaster)*. „Journal of neuroendocrinology", 6(3), 247–250.

Baumgartner, T., Heinrichs, M., Vonlanthen, A., Fischbacher, U. & Fehr, E. (2008). *Oxytocin shapes the neural circuitry of trust and trust adaptation in humans*. „Neuron", 58(4), 639–650.

Ott, V., Finlayson, G., Lehnert, H., Heitmann, B., Heinrichs, M., Born, J. & Hallschmid, M. (2013). *Oxytocin reduces reward-driven food intake in humans*. „Diabetes", DB_130663.

Guzmán, Y. F., Tronson, N. C., Jovasevic, V., Sato, K., Guedea, A. L., Mizukami H., … & Radulovic, J. (2013). *Fear-enhancing effects of septal oxytocin receptors*. „Nature neuroscience", 16(9), 1185.

Guzmán, Y. F., Tronson, N. C., Sato, K., Mesic, I., Guedea, A. L., Nishimori K.& Radulovic, J. (2014). *Role of oxytocin receptors in modulation of fear by social memory*. „Psychopharmacology", 231(10), 2097–2105.

De Dreu, C. K., Greer, L. L., Van Kleef, G. A., Shalvi, S. & Handgraaf, M. J. (2011). *Oxytocin promotes human ethnocentrism*. „Proceedings of the National Academy of Sciences", 108(4), 1262–1266.

Guastella, A. J., Einfeld, S. L., Gray, K. M., Rinehart, N. J., Tonge, B. J., Lambert T. J. & Hickie, I. B. (2010). *Intranasal oxytocin improves emotion recognition for youth with autism spectrum disorders*. „Biological psychiatry", 67(7), 692–694.

Young, L. J. & Barrett, C. E. (2015). *Can oxytocin treat autism?* „Science" 347(6224), 825–826.

Owen, S. F., Tuncdemir, S. N., Bader, P. L., Tirko, N. N., Fishell, G. & Tsien R. W. (2013). *Oxytocin enhances hippocampal spike transmission by modulating fast-spiking interneurons*. „Nature", 500(7463), 458.

ROZDZIAŁ 13

Wall, T. L., Thomasson, H. R., Schuckit, M. A. & Ehlers, C. L. (1992). *Subjective feelings of alcohol intoxication in Asians with genetic variations of ALDH2 alleles*. „Alcoholism: Clinical and Experimental Research", 16(5), 991–995.

Cook, T. A., Luczak, S. E., Shea, S. H., Ehlers, C. L., Carr, L. G. & Wall, T. L. (2005). *Associations of ALDH2 and ADH1B genotypes with response to alcohol in Asian Americans*. „Journal of Studies on Alcohol", 66(2), 196–204.

Boffetta, P. & Hashibe, M. (2006). *Alcohol and cancer*. „The lancet oncology", 7(2), 149–156.

World Health Organization. (2018*). Global status report on alcohol and health 2018*. „Global status report on alcohol and health", 2018.

Bhandage, A. K. (2016). *Glutamate and GABA signalling components in the human brain and in immune cells*. „Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Medicine 1218". 81 pp.

Boileau, I., Assaad, J. M., Pihl, R. O., Benkelfat, C., Leyton, M., Diksic, M., … & Dagher, A. (2003). *Alcohol promotes dopamine release in the human nucleus accumbens*. „Synapse", 49(4), 226–231.

Cordell, B. & McCarthy, J. (2013). *A case study of gut fermentation syndrome (auto-brewery) with Saccharomyces cerevisiae as the causative organism*. „International Journal of Clinical Medicine", 4(07), 309.

Spis treści

WSTĘP
ROZDZIAŁ 1
ROZDZIAŁ 2
ROZDZIAŁ 3
ROZDZIAŁ 4
ROZDZIAŁ 5
ROZDZIAŁ 6
ROZDZIAŁ 7
ROZDZIAŁ 8
ROZDZIAŁ 9
ROZDZIAŁ 10
ROZDZIAŁ 11
ROZDZIAŁ 12
ROZDZIAŁ 13
ZAŁĄCZNIK